

المنظمة العربية للترجمة

مدينة الملك عبد العزيز للعلوم والتقنية

بحوث الزراعة وتكنولوجياها

تحرير كريستيان بوندغارد
ولوك إيزاكسن

ترجمة

حاتم النجدي

سلسلة كتب التقنيات الاستراتيجية والمتقدمة

بحوث الزراعة وتكنولوجياها

اللجنة العلمية لسلسلة التقنيات الاستراتيجية والمتقدمة

د. محمد مراياتي

د. منصور الغامدي

د. حسن الشريف

د. حاتم النجدي

المنظمة العربية للترجمة

تحرير كريستيان بوندغارد ولوك إيزاكسن

بحوث الزراعة وتكنولوجيا حياتها

ترجمة

حاتم النجدي

مراجعة

حسن الشريف

هيثم الناهي

الفهرسة أثناء النشر - إعداد المنظمة العربية للترجمة
بوندغارد، كريستيان
بحوث الزراعة وتكنولوجياتها/ تحرير كريستيان بوندغارد ولوك إيزاكسن؛
ترجمة حاتم النجدي؛ مراجعة هيثم الناهي وحسن الشريف.
717 ص. - (تقنيات استراتيجية ومتقدمة - الزراعة؛ 3)
يشتمل على فهرس.

ISBN 978-614-434-059-2

1. الزراعة. 2. التكنولوجيا. أ. العنوان. ب. إيزاكسن، لوك (محرر).
ج. النجدي، حاتم (مترجم). د. الناهي، هيثم (مراجع). هـ. الشريف، حسن
(مراجع). و. السلسلة.

630

«الآراء الواردة في هذا الكتاب لا تعبر بالضرورة
عن اتجاهات تبناها المنظمة العربية للترجمة»

Bundgaard, Kristian and Luke Isaksen (eds.)

Agriculture Research and Technology

© 2010 by Nova Science Publishers, Inc.

All rights reserved. No part of this book may be reproduced, stored in a retrieval system or transmitted in any form or by any means: electronic, electrostatic, magnetic, tape, mechanical photocopying, recording or otherwise without the written permission of the Publisher.

© جميع حقوق الترجمة العربية والنشر محفوظة حصراً لـ:

المنظمة العربية للترجمة



بناية «بيت النهضة»، شارع البصرة، ص. ب: 113-5996

الحمراء - بيروت 1103 2090 - لبنان

هاتف: 753031 - 753024 (9611) / فاكس: 753032 (9611)

e-mail: info@aot.org.lb - Web Site: http://www.aot.org.lb

توزيع: مركز دراسات الوحدة العربية

بناية «بيت النهضة»، شارع البصرة، ص. ب: 6001 - 113

الحمراء - بيروت 2034 2407 - لبنان

تلفون: 750084 - 750085 - 750086 (9611)

برقياً: «مرعبي» - بيروت / فاكس: 750088 (9611)

e-mail: info@caus.org.lb - Web Site: http://www.caus.org.lb

الطبعة الأولى: بيروت، أيلول (سبتمبر) 2014

المحتويات

7 تقديم
9 مقدمة المترجم
11 تمهيد
	الفصل الأول: الحواسيب والإلكترونيات ضمن سلسلة إنتاج مبتكرة لمعصرة زيت زيتون: تطوير نظم متكاملة عتاديات وبرمجيات للتحكم في جودة زيت الزيتون ومحركاتها وتقديرها وتحسينها.....
25
	الفصل الثاني: منهجية لتخصيص الموارد والجدولة في البيئات غير الأكيدة وتطبيقاتها في إدارة الأعمال الزراعية.....
141
	الفصل الثالث: مستجدات التقدّم في البرمجيات الزراعية: نظرة إجمالية.....
215
	الفصل الرابع: النشر المُمكّن للأسمدة العضوية على الأرض الزراعية: نظرة إجمالية.....
267
	الفصل الخامس: نماذج مبيدات حشرات لمحاكاة انتقال مدخّات التربة في البيئة.....
321
	الفصل السادس: مبيدات الفطريات: كيميائها واستعمالها ونمط عملها.....
345

	الفصل السابع: بروتين التآلق الأخضر: أداة مُثبتة الأداء للتقييم المخبري
	لأحداث التحوّل الجيني وجهاز واعد لمراقبة
375	المحاصيل المعدّلة جينياً.....
	الفصل الثامن: بناء استشرفات حقيقية في منظومات إدارة أمراض
427	المحاصيل.....
463	الفصل التاسع: القياسات البصرية في الزراعة.....
	الفصل العاشر: تقييم أعلاف النباتات المعدّلة جينياً من حيث المغذيات
495	والأمان.....
	الفصل الحادي عشر: استمثال محتوى الملفوف الصيني من المعادن
	ضئيلة التوافر الجوهرية للتغذية بنشر السماد العضوي المخمر أو
547	التروجين في التربة.....
	الفصل الثاني عشر: تضخيم رنيات متداخلة صغيرة في
575	النباتات المعدلة جينياً.....
	الفصل الثالث عشر: استراتيجيات المراحل المتأخرة في عملية لتنقية
	بروتينات مأشوبة من دُرة معدّلة جينياً: تقييم كروماتوغرافي لربيطة ألفة
603	حمض 4 - أمينو - فينيل - أوكزانيليك.....
635	الفصل الرابع عشر: تجارة الموز العالمية: رؤية بعيدة المدى.....
	الفصل الخامس عشر: كيف تساعد الرياضيات
653	صناعة زيت الزيتون.....
	الفصل السادس عشر : تحسين التركيب الحيوي لليغنانات
671	في القمح المعدل جينياً.....
687	الثبت التعريفي.....
697	ثبت المصطلحات.....
705	الفهرس.....

تقديم

سلسلة كتب التقنيات الاستراتيجية والمتقدمة

ضمن مبادرة الملك عبد الله للمحتوى العربي

يطيب لي أن أقدم لهذه السلسلة التي انتُقيت في مجالات تقنية ذات أولوية للقارئ العربي في عصر أصبحت فيه المعرفة محركاً أساسياً للنمو الاقتصادي والاجتماعي والتقني. ويأتي نشر هذه السلسلة بالتعاون بين مدينة الملك عبد العزيز للعلوم والتقنية والمنظمة العربية لترجمة تلبية للسياسات والتوصيات التي تعنى باللغة العربية والعلوم ومنها:

أولاً: البيان الختامي لمؤتمر القمة العربي المنعقد في الرياض 1428هـ (2007م) الذي يؤكد ضرورة الاهتمام باللغة العربية، وأن تكون هي لغة البحث العلمي والمعاملات حيث نصّ على الآتي: «تعزيز حضور اللغة العربية في جميع الميادين بما في ذلك وسائل الاتصال والإعلام والإنترنت، وفي مجالي العلوم والتقنية».

ثانياً: «السياسة الوطنية للعلوم والتقنية» في المملكة العربية السعودية التي انبثق عنها اعتماد خمس عشرة تقنية استراتيجية هي: المياه، والبترو، والغاز، والبتروكيميائيات، والتقنيات المتناهية الصغر (النانو)، والتقنية الحيوية، وتقنية المعلومات، والإلكترونيات والاتصالات والضوئيات، والفضاء، والطيران، والطاقة، والمواد المتقدمة، والبيئة، والرياضيات، والفيزياء، والطبية، والصحية، والزراعية، والبناء، والتشييد.

ثالثاً: مبادرة الملك عبد الله للمحتوى العربي التي تُفَعَّل أيضاً ما جاء في البند أولاً عن حضور اللغة العربية على الإنترنت، حيث تهدف إلى إثراء المحتوى العربي عبر عدد من المشاريع التي تنفذها مدينة الملك عبد العزيز للعلوم والتقنية بالتعاون مع جهات عديدة داخل المملكة وخارجها. ومن هذه المشاريع ما يتعلق برقمته المحتوى العربي القائم على شكل ورقي وإتاحته على شبكة الإنترنت، ومنها ما يتعلق بترجمة

الكتب المهمة، خاصة العلمية منها، مما يساعد على إثراء المحتوى العلمي بالترجمة من اللغات الأخرى إلى اللغة العربية بهدف تزويد القارئ العربي بعلم نافع يُعمل به .

تشتمل السلسلة التي بين أيدينا على ثلاثة كتب في كل من التقنيات المعتمدة ضمن «السياسة الوطنية للعلوم والتقنية» وقد اختيرت بحيث يكون الأول مرجعاً عالمياً معروفاً في تلك التقنية، ويكون الثاني كتاباً جامعياً، والثالث كتاباً عاماً موجهاً إلى عامة المهتمين، وقد يغطي ذلك كتاب واحد أو أكثر. وقد تم بفضل الله الانتهاء من المجموعة الأولى من السلسلة وعددها ثلاثة وثلاثون كتاباً شملت التقنيات الإحدى عشرة الأولى إضافة إلى كتاب إضافي منفرد للمصطلحات العلمية والتقنية المعتمدة في هذه السلسلة. وها نحن ندشن المجموعة الثانية التي تغطي بقية التقنيات الخمس عشرة.

ولقد جرى انتقاء الكتب وفق معايير، منها أن يكون الكتاب من أمهات الكتب في تلك التقنية، ولمؤلفين يشهد لهم عالمياً، وأنه قد صدر بعد عام 2000م، وألا يكون ضيق الاختصاص بحيث يخاطب فئة محدودة، وأن تكون النسخة التي سترجم عنها مكتوبة باللغة التي أُلّف بها الكتاب وليست مترجمة عن لغة أخرى، وأخيراً أن يكون موضوع الكتاب ونهجه عملياً تطبيقياً يصبّ في جهود نقل التقنية والابتكار، ويساهم في عملية التنمية الاقتصادية من خلال زيادة المحتوى المعرفي العربي.

إن مدينة الملك عبد العزيز للعلوم والتقنية سعيدة بصدور المجموعة الثانية من هذه السلسلة، وأود أن أشكر المنظمة العربية للترجمة على الجهود التي بذلتها لتحقيق الجودة العالية في الترجمة والمراجعة والتحرير والإخراج، وعلى حسن انتقائها للمترجمين المتخصصين، وعلى سرعة الإنجاز. كما أشكر اللجنة العلمية للسلسلة التي أنيط بها الإشراف على إنجازها في المنظمة وكذلك زملائي في مدينة الملك عبد العزيز للعلوم والتقنية الذين يتابعون تنفيذ مبادرة الملك عبد الله للمحتوى العربي.

الرياض 10 / 3 / 1434 هـ

رئيس مدينة الملك عبد العزيز للعلوم والتقنية
د. محمد بن إبراهيم السويل

مقدمة المترجم

يُقدِّم هذا الكتاب آخر البحوث الجارية في مختلف أنحاء العالم في مجال الزراعة. ويتطرق على وجه الخصوص، إلى ما يلي:

- تطوير منظومة عتاديات وبرمجيات متكاملة للتحكُّم في عمليات معصرة زيتون ومحاكاتها بغية إنتاج زيت زيتون عالي الجودة.
- منهجية تخصيص الموارد والجدولة في البيئات المتغيِّرة وتطبيقاتها في إدارة الأعمال الزراعية وجدولتها باستعمال شبكات بُتري الهجينة وخوارزمية محاكاة التقسية والخوارزمية الجينية.
- نظرة إجمالية إلى التطوُّرات المستجدة في البرمجيات الزراعية.
- نظرة إجمالية إلى النشر المُمكن للأسمدة العضوية على الأرض الزراعية.
- نماذج مبيدات حشرية لمحاكاة انتقال مدخَّات التربة في البيئة وتلاشيها.
- كيمياء مبيدات الفطريات واستعمالها وأنماط عملها.
- بروتين التألُّق الأخضر واستعماله في التقييم المخبري لإحداث التحوُّل الجيني ومراقبة المحاصيل المعدَّلة جينياً.
- بناء التنبُّوات بالطقس في منظومات إدارة أمراض المحاصيل.

- القياسات البصرية في الزراعة.
- تقييم أعلاف النباتات المعدلة جينياً من حيث أمانها ومحتواها الغذائي.
- استمثال محتوى الملفوف الصيني من المعادن الضئيلة الأثر الضرورية للتغذية بنشر السماد العضوي أو التروجين في التربة.
- إدخال رنيات RNA متداخلة صغيرة في النباتات المعدلة جينياً.
- استراتيجيات لتنقية بروتينات مأشوبة من ذرة معدلة جينياً.
- تجارة الموز العالمية: رؤية بعيدة المدى.
- كيف تساعد الرياضيات صناعة زيت الزيتون.
- تحسين التركيب الحيوي لليغنانات في القمح المعدل جينياً.

لم يؤلف هذا الكتاب شخص بعينه ينتمي إلى ثقافة محددة أو إلى منطقة جغرافية معينة. بل هو مجموعة من المقالات البحثية الأكاديمية كتبها أخصائون من جميع أنحاء العالم، وتعكس خبرات عالمية شاملة في التقنيات الزراعية. يُضاف إلى ذلك أنه يشتمل على كل التقنيات ذات الصلة بالنبات والزراعة تقريباً، من تلك التي تحصل في المزرعة وإدارة أعمالها حتى آخر ما تُوصّل إليه من ابتكارات في مجال الهندسة الجينية النباتية. ولذا يمكن أن يكون مرجعاً بحثياً شاملاً للطلاب والأكاديميين عموماً، وللمنغمسين مباشرة في التطبيقات الزراعية الحقلية والصناعية وإدارتها.

أما في ما يتعلق بترجمة الكتاب، فقد كانت لها نكهة عطور الدنيا كلها. صحيح أن الكتاب مكتوب باللغة الإنكليزية شكلاً، إلا أن تلك اللغة كانت مجرد وعاء انصبّت فيه كل لغات مؤلفي المقالات التي يحتوي عليها، بكل ما تنطوي عليه من ثقافات وذهنيات وأعراف وتقاليد. وكان على المترجم أن يقفز من بلد إلى آخر، ومن قارة إلى أخرى مع كل فصل من فصول الكتاب.

حاتم النجدي

تمهيد

يُقدِّم هذا الكتاب آخر البحوث الجارية في مختلف أنحاء العالم في مجال الزراعة. فمبيدات الفطريات الزراعية مثلاً، تُعرَض مع إشارة خاصة إلى أنماط عملها وانتقائيتها. وتُستعرَض أيضاً جوانب التحكُّم الحيوي، وعلى وجه الخصوص استراتيجيات مبيدات الطفيليات الحيوية، إلى جانب الإمكانيات التجارية والاحتمالات والاعتبارات والصيغ والمثالب وأولويات البحث، بالنسبة إلى تطوير واستعمال تلك المبيدات بُغية التعامل مع الأعشاب الطفيلية على نحو ودودٍ للبيئة. ولُحِّصت في الكتاب أيضاً المرحلة الراهنة من المعرفة الخاصة بتقييم المحتوى الغذائي للأعلاف والأغذية المشتقة من النباتات المعدلة جينياً وأمانها. يُضاف إلى ذلك استعراض ما حصل خلال العقد الماضي من ترسيخ لاستعمال النباتات المعدلة جينياً بوصفها مضيفات لإنتاج بروتينات علاجية مركبة جينياً وإنزيمات تقنية. واستُقصيت أيضاً خاصية الانتقالية التي سُوهدت في النباتات المعدلة جينياً. وتتضمَّن بعض فصول الكتاب تحليلاً لبعض الوظائف المتخصصة الموجودة في منظومات نشر الأسمدة العضوية، ومراجعة للتكنولوجيات الموجودة والبالغة في ضوء هذا التحليل. وثمة ملخَّص أيضاً لاستعمال بروتين التألُّق (Fluorescent) الأخضر في تطوير المحاصيل المعدلة جينياً، ومن ذلك إمكان استعماله في انتقاء محاصيل نخوية، إضافة إلى دراسات حيوية بيئية تتعلق باستعماله لتحديد أمان المحاصيل المعدلة جينياً.

الفصل 1: يرتبط تطوُّر تكنولوجيا زيت الزيتون ببحوث تُجرى لتعميق فهم الظواهر الحيوية والفيزيائية الحيوية في عملية تصنيعه، مؤدِّية إلى إدخال محسَّات قادرة على مراقبة موسطات عملية التصنيع تبعاً لخصائص ثمار الزيتون نفسها. وقد حدَّد البحث الحالي بروتوكولات تصنيع تمكَّن من تحقيق مستويات جودة الزيت المطلوبة في السوق،

وذلك بتقليص المدّة بين جمع الزيتون ومعالجته أولاً، ورفع المستوى التكنولوجي لخطوط استخراج الزيت ثانياً. وفي هذا السياق، يهدف هذا الفصل إلى وصف نتائج مشروع مدته ثلاث سنوات طوّرتّه جامعة فلورنسا في إيطاليا بالتعاون مع دائرة التطوير الزراعي الإقليمي في توسكانا/ إيطاليا (Tuscan Regional Agricultural Development)، وغرفة تجارة فلورنسا، وشركة توسكانا إينولوجيا موري (Toscana Enologica Mori). وسوف يصف هذا الفصل تطويرَ عملية مبتكرة لاستخراج زيت الزيتون تشتمل على سلسلةٍ من وسائل التحكم الآلية (مِحْسَات، ومنظومات رؤية آلية... إلخ) في مستويات زراعية وتكنولوجية عدّة أثناء عملية الاستخراج. وتتيح هذه المنظومة عدّة تشكيلات لعملية الاستخراج بغية التعديل الملائم لخواص جودة زيت الزيتون المستخرج. فقد زُوِّدت معصرة الزيتون بحواسيب ومنظومات إلكترونية (رؤية آلية، مِحْسَات، وشبكات عصبونية صناعية قائمة على البرمجيات) تعمل على موافقة (1) تحصيل البيانات من المادة الخام والزيت المستخرج وموسطات العملية و(2) تطوير سلسلة من الخوارزميات التي تستطيع تقدير جودة زيت الزيتون قبل بدء عملية الاستخراج، وإجراء محاكاة للعملية. وبعد بضعة محاولات تجريبية أُجريت في أثناء فترة جني الزيتون بين 2005 و2008، حدّدت الطريقة المبتكرة العلاقات بين البيانات المُحصّلة والخواص الكمية الخاصة بالزيت المستخرج. وبناءً على نتائج تحليل البيانات التجريبية، صُمّمت البرمجيات وجرى التحقق منها. تتألّف إجراءات التحقق من عملية تكرارية التقائية تُدخّل تغييرات في البرمجيات، وإجراءات عامة، وتصحيحات محتملة لرياضيات المنظومة الأساسية، وتقديراً للأخطاء، وتحليلاً إحصائياً للبيانات، وتطويراً لواجهات مستعمل بيانية جديدة. وأخضعت نتائج المنظومة المُبتكرة لمعايير قواعد الاتحاد الأوروبي النافذة، وجرّت مقارنتها بالنتائج الواردة في المنشورات العلمية.

الفصل 2: يقدّم هذا الفصل منهجية للجدولة ضمن ظروف مقيّدة مع تطبيقاتها في إدارة أعمال المزارع والعمليات الزراعية التي تُستأجر فيها مزارع واسعة ومتباعدة جغرافياً ذات مكننة كاملة. وتتضمّن هذه المنهجية شبكات بتري (Petri Nets) الهجينة لنمذجة تسلسل أعمال المزرعة، وإجراءات تقريبية عامة لتخصيص الموارد وجدولة الأعمال مع الأخذ في الحسبان القيود والحالات غير الأكيدة. وقد جُمّعت تطبيقات لتسجيل أعمال المزرعة اليومية، وإدارة وتحديث الجداول والبيانات ذات الصّلة بموقع على الويب ضمن منظومة إدارة متكاملة. ويُركّز هذا البحث الاهتمام في منظومة القطاف، خاصة في عمليات إنتاج قصب السكر الزراعية.

لقد تبين من استعراض نماذج تسلسل الأعمال في المزرعة أن نموذج شبكات بتري الهجينة قد استوعب على نحو ملائم الأحداث المتقطعة والمستمرة والمتزامنة والسكونية والمتغيرة التي تحصل في العمليات الزراعية. فقد تعامل هذا النموذج مع الحالات عند البداية والمتقدمة للأراضي والموارد الزراعية ومجموعات الآلات المتنقلة والعمل المتعدد الآلات للتغلب على العقبات على نحو جيد. وتتألف الإجراءات التقريبية العامة (Metaheuristic) الثنائية الأطوار في شبكة بتري من خوارزمية محاكاة التقسية (Simulated Annealing Algorithm) (SA) لتخصيص الموارد، وخوارزمية جينية (Genetic Algorithm) (GA) لجدولة عمل المزرعة. وبيئت النتائج التجريبية الخاصة بتطور الحل في الإجراءات التقريبية العامة الثنائية الطور أن التطور السريع للحل وجودته العالية قد حصلنا من خلال تأكيد استمثال تخصيص الموارد، واستبداء لوائح أولوية موروثه من أفضل سلسلة مهام حالية في تخصيص الموارد السابق. وكان جدول تخصيص الموارد، المؤكد بناء على أعلى نسبة استعمال لها، قابلاً للتطبيق من أجل وضع خطة عمل شاملة بعيدة المدى لأعمال المزرعة في بعض الشركات الزراعية الكبرى، في حالة النظر في الأنشطة التقليدية، مثل الأعمال المتعددة الآلات ومدد انتقال الآلات ومدد الانتظار في ما بين الأعمال. وفي منظومة الأعمال المتكاملة، جرى تطوير تطبيق لتسجيل أعمال المزرعة اليومية باستعمال هاتف خلوي مزود بالنظام العام لتحديد الموقع (Global Positioning System) (GPS)، مع وصلة إنترنت. وجرى استقصاء الجدوى التقنية والمزايا العملية لاستعمال الهواتف الخلوية في تسجيل بيانات عمل المزرعة عملياً. وثمة وصف تفصيلي أيضاً لتطبيقات أخرى، مثل الإدارة القائمة على الويب في منظومة الإدارة المتكاملة.

يمثل النموذج المقترح والإجراءات التقريبية العامة نموذجاً واعداً لكل من تخطيط عمل المزرعة والخطة المرجعية لحل مسألة الجدولة بوجود قيود.

الفصل 3: تُعدُّ عمليات المحاكاة والمراقبة والتحكُّم أسس الإدارة الزراعية الحديثة. والهدف الرئيسي للباحثين في هذا المجال هو تحسين كفاءة هذه الإجراءات، وزيادة ميزها ودقتها وسرعتها باستعمال مفاهيم جديدة وأدوات مبتكرة. لذا أصبح استعمال الأدوات القائمة على البرمجيات للتحكُّم في العمليات الزراعية ومراقبتها وتصنيفها ومحاكاتها أكثر أهمية وثقوية. ومع مرور السنين، أدى التكيُّف والدقة وسهولة الاستعمال التي توافرها البرمجيات والمنظومات التي تُدار من خلالها إلى الاهتمام المتزايد بها من قبل مجتمع الهندسة الزراعية. وقد تبين أن المنظومات الجديدة

القائمة على الروبوتية، ونقل البيانات عبر الإنترنت، وآلات الذكاء الصناعي، وغيرها من التكنولوجيات تستطيع تقليص اعتماد الزراعة الحالي على المنتجات الكيميائية، وتحسين استدامتها، وتقليل مفعولها البيئي، واستمثال إدارتها. لذا على الباحثين العمل ضمن مجموعات بحث متعدّدة الاختصاصات ومواكبة التطوّر السريع للتكنولوجيات الحاسوبية. وهذه المقالة تتضمّن نظرةً إجماليةً إلى التطوّرات في هذا المجال بين عامي 2005 و2008، مرّكزةً الاهتمام على تطبيقات الزراعة الدقيقة وإدارة الأعمال الزراعية ودعم القرار في الاقتصادات الزراعية.

الفصل 4: غالباً ما تُمثّل أسمدة روث الحيوانات وغيرها من المنتجات العضوية الثانوية من مصادر متنوّعة (صناعية وزراعية ومنزلية... إلخ) مصدراً متوافراً بسهولة للمغذيات التي يمكن استعمالها في منظومات التربة والمحصول. ويمثّل استعمالها في الأرض الزراعية بديل تدوير ثميناً للتخلّص من هذه المنتجات الثانوية العضوية. ويجب أن تحقّق المنظومات الميكانيكية المستعملة لنشر الأسمدة العضوية وظائف محدّدة تعتمد بالدرجة الأولى على خواص المواد الفيزيائية والسوائلية، وعلى أنماط استعمالها المرغوب فيها، إضافةً إلى اعتبارات أخرى اقتصادية واجتماعية. ويُقدّم هذا الفصل تحليلاً للوظائف التي تقوم بها منظومات نشر الأسمدة على الأرض الزراعية، مع مراجعة للتكنولوجيات المتوافرة والبازغة في ضوء هذا التحليل. وثمة تأكيد لضرورة أن يفهم مصمّمو آلات نشر الأسمدة، ومشغّلوها أيضاً، الوظائف التي يجب على هذه الآلات القيام بها، وأهمية التأثيرات المتبادلة بينها وبين مواد الأسمدة حين التعامل مع الطيف الكامل للأسمدة العضوية السائلة والوحلية والصلبة.

ويجب أيضاً تحديد معايير لتقييم أداء التكنولوجيات المختلفة من حيث النتائج المرجوة. تاريخياً، اقتصرّت المنظومات المصمّمة لنشر الأسمدة العضوية على الاستعمال الزراعي للمنتجات الثانوية الزراعية. ونظراً إلى أن التخلّص الحقلي من هذه المنتجات الثانوية كان الغرض الرئيسي، فقد كان معيار التصميم الرئيسي الشائع متمحوراً حول تخفيض تكلفة التصميم وزيادة متانته. لكن مع تزايد الاهتمام بالاستدامة البيئية، أصبح من الضروري مزوجة وظيفة الآلة الخاصة بالتخلّص من تلك المواد، مع متطلبات تشغيلية مُقرّنة بالتدوير الصحيح للمنتجات الثانوية العضوية بواسطة منظومات التربة والمحصول. إن هذا التأكيد القوي لتدوير المغذيات يمكن أن يقلّل من الحاجة إلى معظم الآلات الاقتصادية لمصلحة منظومات ذات أداء أفضل.

الفصل 5: استُعملت نماذج محاكاة مبيدات الحشرات والبرامج الحاسوبية منذ مدة طويلة للمساعدة على تحديد الأهمية النسبية للعوامل الكيميائية والبيئية والإدارية المختلفة التي تؤثر في فعالية مبيدات الحشرات وفي مفعولها البيئي و[مدخّنات التطهير بالتدخين] (Fumigants). التربة هي مجموعة خاصة من مبيدات الحشرات وبسبب ضغط بخارها العالي فهي مركبات عضوية متطايرة أيضاً. ومنذ اتخذ قرار الإيقاف التدريجي لاستعمال ميثيل البروميد (Methyl Bromide) في أوائل تسعينيات القرن العشرين، أُجري كثير من البحث في توثيق تلاشيه البيئي وبدائله المحتملة، وانتقاله في البيئة. والغرض من هذه المقالة هو مراجعة أنشطة النمذجة المتعلقة بمدخّنات التربة بعد بدايات تسعينيات القرن العشرين، مع تركيز خاص للاهتمام بنمذجة دفعات إصدار المدخّنات. وهي تتضمن نظرة إجمالية عامة إلى المبادئ الفيزيائية والكيميائية الأساسية لنمذجة التلاشي البيئي لمدخّنات التربة وانتقالها في البيئة. وتشتمل بدرجة رئيسية على نماذج رقمية للعملية، وإلى حدّ أقل، على نماذج تجريبية ارتدادية، أو نماذج انتشار الهواء. وثمة مقارنة لمزايا ومحدوديات النماذج المختلفة، إضافة إلى مناقشة للاحتياجات المستقبلية لنمذجة مدخّنات التربة.

الفصل 6: ينظر هذا الفصل في مبيدات الفطريات الزراعية مع اهتمام خاص بنمط العمل والانتقائية. تتكوّن مقاومة المرض من عاملين أساسيين: المقاومة المتأصّلة في النبات، أو المقاومة السلبيّة، والاستجابة الدفاعية التي نسميها المقاومة الإيجابية.

وتبعاً لموقع المرض، ومكان تطبيق مبيد الفطريات، يمكن التمييز بين مبيدات فطريات ورقية، ومبيدات فطريات للتربة، ومبيدات فطريات لمعالجة البذور قبل الزرع. إلا أن ثمة كيمائيات تُستعمل للأغراض الثلاثة جميعها.

وتُطبّق مبيدات الفطريات الورقية على شكل غبار أو رذاذ على الأجزاء الخضراء الهوائية من النبات. وتُستعمل مبيدات فطريات التربة لمكافحة الفطريات التي تحملها التربة، ومنها فطر المغزلاوية والبيثيوم وغيرهما.

وتلك المبيدات هي مبيدات كيميائية من حيث طبيعة تأثيرها، وهي تُطبّق على التربة على شكل سائل أو مسحوق أو حبيبات جافة، وتعمل في الطور البخاري أو بالمفعول الجهازى. ويمكن قتل العوامل المرضية الموجودة على البذرة أو ضمنها، والوقاية من ظهور المرض الناجم عن الفطريات التي تحملها التربة بمعالجة البذور أو الدرنات قبل زرعها.

وتصنّف مبيدات الفطريات على أنها واقية أو شافية أو مستأصلة تبعاً لنمط تأثيرها. وتمنع مبيدات الفطريات الواقية غزو الأبواغ (Spores) إما بإبادتها أو بتغيير البنية الفيزيولوجية على سطح الورقة. ويجب تطبيق مبيدات الوقاية، وفقاً لما ينطوي عليه اسمها، على النبات المضيف قبل حصول أي تماس بين المضيف والفطر الممرض. وإذا اخترقت الخيطان الفطرية نسيج النبات فعلاً، وكانت الأفطورة نامية بين الجليدة والظهارة (الأدمة) دون أن يكون التكاثر وتكوّن الأبواغ قد حصلاً بعد ضمن دورة النشوء الفطري (يومان حتى 12 يوماً بعد الغزو عادة)، فإن مبيد الفطريات الواقية يمكن أن يمنع المزيد من العدوى في هذه المرحلة.

وتسمّى العوامل التي يمكن أن تحدّ من انتشار الفطريات بعد ظهور الأعراض للعيان (غالباً بعد التبوّغ)، وتقتل كلاً من الأبواغ المتكوّنة حديثاً والفطريات، بمبيدات الفطريات المستأصلة. وبعض العوامل، مثل مشتقات البنزيميدازول والبيريدين والأوكزاثين والترايزول وغيرها، هي مبيدات فطريات جهازية، وهي تنقل الفعالية في سطح اللحاء إما من الجذر إلى طرف الورقة الرأسي، أو العكس. والمزيج الكبرى لهذه العوامل الجهازية هي أنها تقي الجزء النامي حديثاً من المزيد من العدوى.

الفصل 7: يُعتبر التحويل الجيني للنبات أداة فائقة الكفاءة لدراسة وظائف الجينات المختلفة وعناصرها المنظمة لها. وهي أيضاً طريقة واعدة جداً لتعديل وتحسين السمات الزراعية والبستانية المختلفة، مؤدية إلى إنتاج نباتات معدّلة جينياً (وراثياً). ومنذ نشر أول تعديل جيني ناجح للنبات في دراسة قبل أكثر من 30 سنة، توفّر كثير من أجناس النباتات المعدلة جينياً، بعضها يُزرع تجارياً في كثير من البلدان في شتى أنحاء العالم، وهي تؤدي فعلاً دوراً مهماً في إنتاج الغذاء والعلف. ولاحقاً لهذه الإنجازات، غدا التحويل الجيني موضوعاً لبحث مكثّف، ومنه تحديد هوية جينات مهمة واستنساخها، وتطوير طرائق عالية الكفاءة لإقحام تلك الجينات في جينوم المضيف وانتقاء أحداث التحوّل التي هي أرجح احتمالاً لإنتاج متعضيات معدّلة جينياً في المستقبل. ويُعتبر البحث الأساسي في تطوير المتعضيات المعدلة جينياً موضوعاً ذا أهمية عالمية كبيرة، وينطبق الشيء نفسه أيضاً على الدراسات ذات الصلة بأمانها إزاء صحة الإنسان والحيوان، وبمفاعيلها الممكنة في البيئة وفي منظومات البيئة الحيوية الزراعية الحالية، وما تعكسه من متطلبات الناس والسلطات التشريعية. لذا

فإن بحثاً مكثفًا يقوم على استعمال أجناس نباتات مفهومة تماماً، إضافة إلى متعضيات أخرى، تؤدّي دوراً مهماً في تطوير المحاصيل المعدلة جينياً، وفي إدخالها إلى البيئة والسوق، وذلك من حيث دراسة المسائل المختلفة المتعلقة بأمانها الحيوي وتقدير مخاطرها.

ويمكن لاستعمال جينات على شكل «نموذج» أو «واسمة» (Marker or Model Gene) أن يُتيح تقديراً سريعاً وفعالاً لعدد كبير من إجراءات التحويلات الجينية، ويمكن من انتقاء نخبة من أحداث التعديل الجيني، وتقييم سلوك المتعضيات المعدلة جينياً بعد وضعها في المنظومات البيئية الحيوية. وثمة كثير من الجينات الواسمة المتوافرة اليوم، إلا أن بعضاً منها فقط يمكن أن يُستعمل بطريقة لا تؤدّي المتعضي المهندس موضوع الدراسة. فكشفها يتطلب عادة تحليلاً إتلافياً أو إضافة ركيزة سامة. لكن الشيفرة الجينية لبروتين التألّق الأخضر (البروتين الأخضر) (GFP) (Green Fluorescent Protein) تمكّن من الكشف غير الإتلافي لأحداث التحوّل في بعض أصناف النبات. وأكثر من ذلك، إنه يمكن من إجراء دراسات في مكان الحدث وفي الزمن الحقيقي. يقدّم هذا الفصل نظرة عامة إلى استعمالات البروتين الأخضر في تطوير المحاصيل المعدلة جينياً، ومنها استعماله في انتقاء أفراد النخبة، إضافة إلى استعماله المحتمل في الدراسات البيئية الحيوية الهادفة إلى تحقيق أمان المحاصيل المعدلة جينياً.

الفصل 8: الغرض من هذا الفصل هو وصف الحاجة إلى تطوير تنبؤات لإدارة مخاطر أمراض المحاصيل في الولايات المتحدة على نحو أفضل، إضافة إلى التقدّم الأخير الذي تحقّق في هذا المجال. فقد طُوّرت خطط استراتيجية مكافحة الحشرات (PMS) (Pest Management Strategic Plans) لجميع المحاصيل الرئيسية في الولايات المتحدة (USDA, 2008a). وبتسهيلات من وزارة الزراعة الأميركية، قام مزارعون، وجمعيات السلع الاستهلاكية، وخبراء منح تخصيص أراضي الدولة، ومستشارون زراعيون ووكالات حماية البيئة، بوضع خطط تعالج احتياجات مكافحة الحشرات، وحدّدوا أولوياتها للمحاصيل الزراعية المختلفة في ولايات أو مناطق معينة. وفي مراجعة لتلك الخطط، تشتمل على جميع المحاصيل الزراعية الرئيسية في الولايات المتحدة (الذرة وفول الصويا والقمح والبطاطا والفسق السوداني مثلاً)، أعطت تلك الخطط الحاجة إلى تطوير نماذج إدارة تنبئية من أجل التنبؤ بالأمراض الأولوية العليا.

لقد استعملت نماذج التنبؤ بالطقس لتقدير الظروف البيئية المواتية للخطر الوبائي، والتوصيات بالمبيدات المناسبة لذلك الوباء، طوال 50 عاماً (Beaumont, 1947; Cook, 1949; Wallin & Schuster, 1960). إن تلك النماذج تعمل على الحد من نفقات المزارعين وتقليل مقادير المواد الكيميائية التي تنتشر في البيئة، مع تحقيق سيطرة أمثلية على المرض. لكن برغم أنها كانت ناجحة في تقليل استعمال المبيدات الزراعية، فإن أحد مثالبها هو أنها تستعمل بيانات طقس في الزمن الحقيقي في أحسن الأحوال، في حين أن تضمين بيانات تنبؤ أوسع نطاقاً في منظومات مكافحة الأمراض يمكن أن يجعلها أعلى قيمة بتوفير تنبؤات بظروف المخاطر تمتد على بضعة أيام قبل حدوثها.

الفصل 9: تعتبر عيوننا من أفضل الأجهزة المتوافرة لدراسة الطبيعة والتفاعل معها. فبواسطتها تتمكّن أدمغتنا من فهم ظواهر كثيرة، وبها نستقبل النتائج الناجمة عن انغماسنا في كثير من الأعمال. وخلال تاريخ التطور العلمي، اخترعت وبُنيت أجهزة قياس لتحسين مقدرتنا على الرؤية القريبة أو البعيدة، بتفاصيل أكبر، بغية تحقيق فهم أفضل للكون من حولنا، ومن ثمّ تطوير نظريات عن العالم الذي يحيط بنا. وقد ساعدتنا أجهزة، مثل المجهر والمقرب (التليسكوب)، على تحسين مقدرتنا على رؤية أعمق وأبعد، وعلى معرفة ممّ نتكوّن. وليوونهُوك (Leeuwenhoek) (1632-1723) وغاليليو غاليلي (Galileo Galilei) (1564-1642) مثالان للعلماء الرّواد في استعمال المجهر والمقرب، فقد باشرا عملية، ما زالت قائمة، من التحديّ والارتحال إلى عوالم جديدة لم تكن أعيننا المجرّدة قادرة على الوصول إليها. ومع نهاية القرن العشرين، كانت الإلكترونيات والحواسيب مسؤولة عن كثير من الثورات في طريقة عيشنا. وإحدى تلك الثورات مكّنت من الاستعاضة عنآ بآلات تستطيع القيام ببعض أعمالنا في مجال الرصد والتفسير بطريقة أكثر عقلانية وموضوعية.

توافر صور الكاميرات الرقمية بسهولة رؤية لم نكن سابقاً نتخيّلها قط، متيحة تحليل مقادير هائلة من البيانات الجديدة بواسطة حواسيب متزايدة المقدرة. لكن وصف جميع التطوّرات والتطبيقات الجديدة للتصوير في جميع مجالات العلم والتعامل معها أمر في عداد المستحيل. لذا يقتصر المؤلّفان هنا على استقصاء مجال الزراعة فقط، من وجهة نظر تحليل الصورة، وذلك بانتقاء بعض التطبيقات المهمة بغية تسليط الضوء عليها، وتعريف القارئ ببعض التطبيقات الجديدة وطرائق الفحص السهلة وبعض تقنيات تحليل الصورة الشائعة.

يقدم المؤلفان في هذا الفصل استعمال صور البقع الليزرية للحصول على معلومات تخصّ الأنشطة الحيوية في مواد مثل البذور والفطريات والفواكه والأغشية الحيوية. ويقدم المؤلفان أيضاً التطورات الأخيرة في استعمال تقنية قديمة تسمى بأنماط موارّيه (Moiré) ازدهرت مع تقدّم التصوير الرقمي. وفي النهاية، يقدم المؤلفان ملخصاً لكثير من تطبيقات تحليل الصورة في الزراعة، ومنها طرائق التقاطها وإظهارها.

الفصل 10: سوف تكون ثمة منافسة قوية على الأرض الزراعية بين مجالات الأغذية والأعلاف والوقود والألياف والإسكان والمحميات الطبيعية في المستقبل. لذا يجب أن تكون النباتات العالية المردود ذات المدخلات الخارجية القليلة هدف زراعة النباتات الرئيسي. وإلى جانب زراعة النباتات المعتادة، يبدو أن ثمة إمكانات في تكنولوجيا النبات الحيوية للإسهام في هذا الهدف. فقد ازدادت مساحة زراعة النباتات المعدلة جينياً في مختلف أنحاء العالم من نحو 1.7 (في عام 1996) إلى نحو 114 مليون هكتار (في عام 2007). هذا يعني أن نحو 7% من الأرض الزراعية في العالم قد زُرعت بنباتات معدلة جينياً في عام 2007. لذا فإن تقييم نباتات الغذاء والأعلاف المعدلة جينياً من حيث المحتوى الغذائي والأمان على درجة كبيرة من الأهمية. وفي هذه المقالة، سوف نراجع المستوى الحالي من المعرفة بهذا الشأن، ملخصين نتائج الدراسات في ما يأتي:

- تساوي مساحة الأرض المزروعة حالياً بنباتات معدلة جينياً نحو 700 مليون هكتار في العالم.
- أُجريت معظم الدراسات الحيوانية باستعمال محاصيل معدلة جينياً من الجيل الأول (مع سمات مُدخلة (Input Traits)).
- لم تُسجّل أيُّ مفاعيل تركيب أو تلوّث غير مقصودة (باستثناء ذيفان فطري قليل) في التقييمات الغذائية لأعلاف من نباتات معدلة جينياً من الجيل الأول في أكثر من 100 دراسة على حيوانات منتجة للغذاء.
- يُوصى بتصاميم تجريبية أخرى لتقدير أمان أعلاف النباتات المعدلة جينياً من الجيل الثاني (مع سمات مُخرجة (Output Traits)) ومحتواها الغذائي.
- لم يُبدّل الدنا (DNA) والبروتين المعدل جينياً خواص أخرى بوصفها دنا نبات أو بروتين أصلي أثناء معالجة العلف، أو الحيوانات.

- يبدو أن ثمة حاجة إلى دراسات حالة متعددة للإجابة عن الأسئلة التي لا توجد أجوبة لها، ويجب أن تشمل تلك الدراسات على المجموعات المشابهة جينياً أو الشديدة الشبه.

يجب استعمال دراسات علف الحيوانات المنتجة للغذاء في تقدير الأمان أيضاً.

الفصل 11: يكفي نشر النتروجين والفوسفور والبوتاسيوم على التربة للحصول على محاصيل غنية بالكتلة الحيوية والبروتينات والمعادن الضئيلة الأثر الضرورية لصحة النبات والمستهلك. وفي حين أنه يمكن تجاوز فقر التربة بالمعادن الضئيلة الأثر بسهولة، فإن التربة الكثيرة المعادن عديمة الفائدة وتحتاج إلى معالجة استصلاحية مقبولة التكلفة. وقد جرى أخيراً تبيان أن امتصاص المعادن الانتقالية المقترنة بروتينات الأيونات المعدنية (Metalloproteid)، أي (Cd)، Cu، Co، Mn، Ni، Zn، إضافة إلى Ca و Mg يزداد أو ينقص خطأً تقريباً مع محتوى ثنائيات الفلقة من النتروجين العضوي (N_{org}). يُضاف إلى ذلك أن الآثار الضئيلة من المخليبات المعدنية النباتية (Phytochelant) وبعض الحموض الأمينية في التربة قد تحمض امتصاصاً غير متجانس لعناصر معينة (Co, Mn)، في حين أن مركبات أمينية أخرى تعزز الكتلة الجافة وتكوين الـ N_{org} ، لامتصاص المعادن الضئيلة الأثر (المتجانس). لذا فإن نشر المعادن الضئيلة الأثر في التربة الفقيرة بها، أو نتروجين التربة المستهلك للهيدروكربونات البادئة في التربة الغنية بالمعادن من أجل كبت تكوين الـ N_{org} وامتصاص المعادن (الثقيلة) في نفس الوقت، ليس الطريقة الوحيدة لاستمثال نسبة المعادن الضئيلة الأثر في النبات. وفي هذه الدراسة، وُضِع الملفوف الصيني (الخنس) على ركيزة من تربة مخلّفات منجم يورانيوم غني بالمعادن. وجرى تخميد كربون التربة العضوي C_{org} الموجود بنسبة 2.5% (نسبة وزنية) برمل كوارتسي $C_{org}=0$ إلى ركيزتي 6.6% و 9.5% C_{org} . وعولجت التربة بهذه الطريقة لتخفيض تركيز العناصر الخطرة في محلول التربة بالتخميد البسيط أو بامتزاز المادة العضوية، ومن ثمّ كبح امتصاص النبات للمعادن الثقيلة. وتُوقَّع أيضاً أن تكون للسهاد العضوي، بوصفه متمماً «هيدروكربونياً»، مفاعيل في تكوين نتروجين النبات العضوي N_{org} وتوازن المعادن المستقر. ونظراً إلى الاختلاف الكبير في موارد النتروجين المعدني بين ركائز التربة المخدّدة بالرمل والمستصلحة بالسهاد العضوي، يتغيّر كثيراً إنتاج الكتلة الجافة (5.5 ضعفاً) ونسبة النتروجين العضوي (3.3 ضعفاً) في بتلات الملفوف الصيني. وفي نسيج برعم من عينات تربة ذات 0.5% C_{org} أو 2.5% C_{org} ، فإن تراكيز المعادن

الانتقالية المقترنة بالبروتين Ca و Mg انخفضت وارتفعت مرة أخرى خطياً تقريباً مع N_{org} . وتناقص امتصاص عناصر أساسية وغير أساسية معينة فقط في حالة نباتات من تربة 0.5% C_{org} ، مع تناقص محتواها من المعادن. ومع ظهور سجاد فيشر، انعكست العلاقة بين محتوى البراعم من النتروجين العضوي والامتصاص المتجانس لمجموع المعادن الانتقالية المقترنة بالبروتين Ca و Mg، جذرياً، برغم أن هذه المعادن بقيت في المحلول، ولم ترتبط بالمتهم السمادي. ولم تكون نُسج براعم نبات من عينات تربة 6.6/9.5% C_{org} تراكيز عليا للنتروجين العضوي. ومع ذلك احتوت على مقدار صغير يساوي نحو 28/19% من كمية المعادن الانتقالية الخمسة، التي يمكن أن تُمتص نظرياً من تربة غير مستصلحة، لكي تتوافق مع مقدار النتروجين العضوي. وكُتبت امتصاص الـ Ca و Mg أيضاً، في حين أن امتصاص العناصر غير الضرورية لم يتدنّ تقريباً بكميات الكربون التربة العضوي C_{org} و نتروجين البراعم العضوي N_{org} . وإضافة إلى عدة مصادر للمواد الحيوية الصلبة، كبح سجاد زيوس Zeus (42% C_{org}) تكوين N_{org} في البراعم في أثناء تدهور الاستهلاك النتروجيني لسكر الهكسوز المتأصل فيه. ولم يشوَّس السجاد العضوي التناسب بين تراكيز نتروجين البراعم العضوي والـ Ca، (Cd)، Ni، Mg، Zn، في حين أن امتصاص الـ Co، Cu، Mn كُتبت انتقائياً. ويُستنتج من ذلك أن المواد الصلبة الملوثة بالـ (Cd)، Co، Cu، Mn، Ni، Zn، لا بمعادن خطرة ضئيلة الأثر أخرى، يمكن أن تُسخر لإنتاج المحاصيل النباتية من خلال نشر مواد صلبة حيوية معينة، ولإمداد محدود بالنتروجين. ويجب أن يترافق إنتاج المحاصيل النباتية في تربة فقيرة بالمعادن الضئيلة الأثر بنشر أسمدة الـ NH_4 المحمّضة للتربة والمعززة لتكوين بروتينات النبات، إضافة إلى مصادر نتروجين عضوي مُعدّنة بوسطاء NH_3/NH_4^+ . ويجب تقييد نشر الكربون العضوي. ويُستنتج أيضاً أن التغيّرات في استقرار توازن معادن النبات بوجود عدة أسمدة تشير إلى دور محتمل لهرمونات نمو النبات الجرثومية التي تكون قد تكونت أثناء التخمر الصناعي. ويمكن للسجاد العضوي أن يعمل أيضاً بوصفه متمماً مشابهاً للهيدروكربونات مع خواص تحريض احتجاز نتروجين التربة، ومن ثمّ تقييد امتصاص النبات للنتروجين العضوي والمعادن.

الفصل 12: تداخل الرنا (Interference RNA) (RNAi) هي تكنولوجيا سريعة الانتشار، تُسهّم في تقدّم علم النبات الأساسي وتكنولوجيا النبات الحيوية التطبيقية. إن معظم متعضيات تداخل الرنا النباتية تنسخ سلسلة متكرّرة معكوسة

تشتمل على سلاسل معيَّنة. وتُعالج رنيات (RNAs) ملقط الشعر (Hairpin RNA) لتصبح رنيات صغيرة متداخلة (Small Interfering RNAs) (siRNAs) طولها يساوي 21-25 نيوكليوتيد. وتُضمَّن هذه الرنيات الصغيرة المتداخلة في معقدات بروتينية تحتوي على الأروغوناوت 1 (ARGONAUTE1)، ثم تقود القصَّ الخاص بالسلسلة للرنيات المرسالة (Messenger RNA) (mRNAs). وتقذح الرنيات الصغيرة المتداخلة الأولية غالباً تركيب الرنيات الصغيرة المتداخلة الثانوية. وفي عملية التضخيم هذه، يتبع تحويل الرنيات الصغيرة المتداخلة الأولية إلى رنيات مرسالة موضوع الاهتمام استعمال رنا البوليميراز 6 المعتمد على الرنا (RDR6) (RNADEPENDENT RNA POLYMERASE6)، ثم تُركَّب جزئيات رنا متممة إلى جانب رنيات رسالة معينة. وتُعالج الرنيات ذات الطاقين (dsRNAs) (Double-Stranded) المركَّبة أخيراً لتصبح رنيات صغيرة متداخلة ثانوية بالأنشطة الزائدة للبروتينات DICER-LIKE4 و DICER-LIKE2. ونظراً إلى أن المنطقة موضوع الاهتمام للرنيات الصغيرة المتداخلة الثانوية تتوسع إلى مناطق خارج الموقع الرئيسي موضوع الاهتمام، تسمَّى هذه الظاهرة بالتعدُّي (Transitivity). إن توسُّع هدف الرنيات الصغيرة المتداخلة بالتعدُّي يُخزَّب خصوصيتها. لذا كانت آليات التعدُّي مهمة للباحثين الذين يستعملون نباتات رنيات متداخلة. ويُشاهد التعدُّي كثيراً في النباتات المعدلة جينياً التي تتجلَّى فيها سلاسل تعديل جيني معينة بوجود الرنيات الصغيرة المتداخلة الرئيسية. وليس ثمة دراسة تُري التعدُّي في قوالب الرنيات المرسالة الداخلية. والشيء الذي ليس واضحاً هو سبب أن معظم عمليات النسخ الداخلية تبدو قالباً غير كافٍ للـ RDR6 في أثناء التعدُّي، لكن التعدُّي المحدود في أثناء عمليات النسخ الداخلية يُسهِّم على ما يبدو في الحفاظ على خصوصية الرنيات المتداخلة. في هذه المراجعة، سوف نركِّز الاهتمام في التعدُّي الموجود في النباتات المعدلة جينياً.

الفصل 13: ترسُّخ في العقد الماضي استعمال النباتات المعدلة جينياً لإنتاج بروتينات علاجية مأسوبة (Recombinant) وإنزيمات تقنية. فنظم النبات مجدية اقتصادياً من حيث إنتاج الكتلة الحيوية، وهي لا تؤوي العوامل المرضية البشرية. وللاستفادة من مزايا المنظومات القائمة على النبات في عمليات الإنتاج الأولية، من الضروري إجراء تنقية المنتجات المركبة النهائية باقتصاد، لأن عمليات التنقية يمكن أن تمثِّل 50%-80% من التكاليف الكلية لخط الإنتاج الواسع النطاق. وفي دراسة

الحالة الواردة في هذه المقالة، نقيّم مقدرة ربيطة (Biometric) حمض الـ 4 - أمينو - فينيل - أوكزالينيك، المرتبطة بالسيفاروز (CL-6B) بواسطة 1،3،5 - ترايكلورو- 2،4،6 - تريازين المتّجّ حيويّاً، على ربط وتنقية مضاد الأجسام (mAb 2F5) البشري الوحيد النسيلة والمضاد لفيروس الإيدز HIV من مستخلصات ذرّة مشوبة. وضمن ظروف مختارة، أبدى ممتز الألفة انتقائية عالية لـ mAb2F5 وحقّق درجة عالية من التنقية (نقاوة أكبر من 90٪) واستعادة (أكبر من 90٪) في خطوة واحدة بملح كلور البوتاسيوم (KCl) من مستخلصات ذرّة مشوبة.

الفصل 14: تهدف هذه الدراسة إلى تقديم رؤية بعيدة المدى لتجارة الموز العالمية بغية توفير معلومات أساسية لاتخاذ القرارات بشأنها. لقد وُجد أن استيراد الموز وتصديره وتجارته في بعض المناطق والبلدان هي توابع خطية عموماً للزمن، واستُعمل هذا النموذج الخطي بحيث يتوافق مع البيانات التاريخية لتلك التجارة، وأُعطيت تنبؤات تفصيلية لها في تلك المناطق للأعوام 2008-2023. وجرى توقُّع نسب التصدير المتغيّرة مع الزمن لبعض المناطق والبلدان أيضاً. وبيّنت النتائج أنه إذا استمرت الأنماط السابقة، فإن استيراد الموز عالمياً سوف يتّبع توجُّهاً متزايداً بمعدل يساوي 269706 طن سنوياً. وسوف يصل إلى $10^7 \times 1.9416$ طن بحلول عام 2023. ويؤدي تصدير الموز تزايداً بمعدل يساوي 277637 طن سنوياً، وسوف يصل بحلول عام 2023 إلى $10^7 \times 1.9960$ طن. ويُتوقَّع أن يزداد حجم تجارة الموز العالمية بمعدل 547343 طن سنوياً، وأن يصل إلى $10^7 \times 3.9276$ بحلول عام 2023. ويُتوقَّع أن تنمو نسبة تصدير الموز عالمياً وتصل إلى 22.76٪ بحلول عام 2023. ومن ناحية أخرى، قورنت تجارة الموز في ما بين الدول والمناطق المختلفة، ونوقش الوضع الراهن لتجارة الموز في الصين.

الفصل 15: جرى إنتاج زيت الزيتون في الماضي على مدى خمسة آلاف سنةٍ باستعمال أصناف مختلفة من الزيتون مع تقنيات تصنيع متنوّعة، وأدّى ذلك إلى أنواع مختلفة من زيت الزيتون والمخلّفات. وكان الشيء المهم دائماً هو الحفاظ على جودة عالية من زيت الزيتون البكر الفائق النقاء، وعلى خواصه العضوية الدهنية، إضافة إلى تقليص مفعول مخلّفات البيئي إلى أدنى حدٍّ ممكن بطريقة غير مكلفة. وفي الآونة الأخيرة، وبغية استمثال منظومات الإنتاج مع الأخذ في الحسبان لمتطلّبات هذه الصناعة، استُعملت خوارزميات رياضية (ارتدادية خطية ولاخطية) على نطاق واسع. وفي هذا الفصل، نقدّم وصفاً لأنواع الخوارزميات الرياضية الحاسوبية

المختلفة (تحليل المكوّنات الأساسية، والشبكات العصبونية، والارتداد الجزئي ذو الخطأ التربيعي الأصغر، والارتداد الرياضي... إلخ) التي نُفّذت مع تطبيقاتها الواقعية في قطاع زيت الزيتون حاسوبياً.

الفصل 16: الليغنانات (Lignans) الكيميائية النباتية هي دايمرات (Dimers) مرتبطة معاً بروابط بيتا - بيتا (β - β) ذات بنية 4,1 - دياريلبوتان (1,4 - diarylbutane). وهي تُركّب حيوياً في سيتوبلازما الخلية بواسطة فعل إنزيمات مسار الفينيلبروبانويد (Phenylpropanoid Pathway) الذي يُسرّع فيه لياز أمونيا الفينيلالانين (Phenylalanine Ammonia Lyase) (PAL) الخطوة الأولى من الاستقلاب الثانوي، ويُسرّع المرجع لاسيريسينول بينوريسينول (Pinoresinol Laciresinol Reductases) (PLR) الخطوات الأخيرة من التركيب الحيوي لليغنانات. وتوجد الليغنانات بوفرة في بذر الكتان وفي حبوب متنوّعة، منها القمح.

وقد بيّنت الدراسات الوبائية والطبية ترابطاً بين استهلاك منتجات الحبوب الكاملة الغنية بالليغنانات، وانخفاض خطر الإصابة بمرض السرطان. وفي النماذج الحيوانية، أُثبت أن الليغنانات تنطوي على أنشطة مضادة للسرطان. وبيّنت دراساتنا السابقة أن محتوى أصناف القمح المختلفة من الليغنانات كانت مقترنة جداً بأنشطة مضادة للأورام في فئران داء السلائل القولوني الورمي الغدي (Adenomatous Polyposis Coli) (APC^{min}). وتغطّي هذه المقالة جوانب محدّثة من الليغنانات، مع تأكيد لتحسيناتنا الأخيرة المدخلة في تركيبها الحيوي في القمح بواسطة الهندسة الجينية، وذلك بالتعبير المفرط عن جينة ال-PLR. وبغية تطوير تعديل فاعل ذي تعبير مستقر، سوف نناقش دراسة مستقبلية تشمل على التعبير المفرط عن كل من جينات ال- PAL وال- PLR في تحويل المسار.

الفصل الأول

الحواسيب والإلكترونيات ضمن سلسلة إنتاج مبتكرة لمعصرة زيت
زيتون: تطوير نظم متكاملة عتاديات وبرمجيات للتحكم في جودة زيت
الزيتون ومحاكاتها وتقديرها وتحسينها

Rocco Furferi^(), Monica Carfagni², Enrico Cini³,
Marzia Migliorini⁴, Marco Daou⁵, Paolo Boncinelli⁶
and Chiara Cherubini⁷*

^{1,2}Dipartimento di Meccanica e Tecnologie Industriali, Università di
Firenze.

^{3,5,6}Dipartimento di Ingegneria Agraria e Forestale, Università di
Firenze.

^{4,7}Camera di Commercio di Firenze – Laboratorio Chimico
Merceologico.

ملخص

يرتبط تطوُّر تقانة زيت الزيتون ببحوث تُجرى لتعميق فهم الظواهر الحيوية
والفيزيائية الحيوية في عملية تصنيعه، مؤدية إلى إدخال مجسّات قادرة على مراقبة
الموسطات وعملية التصنيع تبعاً لخصائص ثمار الزيتون نفسها. وقد حدّد البحث
الحالي بروتوكولات تصنيع تُمكن من تحقيق مستويات جودة الزيت المطلوبة في

(*) المؤلف للرسالة: rocco.furferi@unifi.it

السوق، وذلك بتقليص المدة بين جمع الزيتون ومعالجته أولاً، ورفع المستوى التكنولوجي لخطوط استخراج الزيت. وفي هذا السياق، يهدف هذا الفصل إلى وصف نتائج مشروع مدته ثلاث سنوات طوّرت جامعة بن PIN في فلورنسا بإيطاليا بالتعاون مع دائرة التطوير الزراعي الإقليمي بتوسكانا في إيطاليا، والمختبرات الكيميائية والإيكولوجية الخاصة في غرفة التجارة والصناعة والزراعة والحرف بفلورنسا (Camera di Commercio, Industria, Artigianato ed Agricoltura) (CCIAA)، وشركة توسكانا إينولوجيا موري. وسوف يصف هذا الفصل تطوير عملية مبتكرة لاستخراج زيت الزيتون تشتمل على سلسلة من وسائل التحكم الآلية (مجسات ومنظومات رؤية آلية... إلخ) في موسطات زراعية وتكنولوجية عدة في أثناء عملية الاستخراج. وتتيح هذه المنظومة عدّة تشكيلات لعملية الاستخراج بُغية التعديل الديناميكي للملائم لخواص جودة زيت الزيتون المستخرج. فقد زُوِّدت معصرة الزيتون بحواسيب ومنظومات إلكترونية (رؤية آلية، ومجسات وشبكات عصبونية صناعية قائمة على البرمجيات) تعمل على موافقة (1) تحصيل البيانات من المادة الخام والزيت المستخرج وموسطات العملية، و(2) تطوير سلسلة من الخوارزميات التي تستطيع تقدير جودة زيت الزيتون قبل بدء عملية الاستخراج، وإجراء محاكاة للعملية. وبعد بضعة محاولات تجريبية أُجريت في أثناء فترة جني الزيتون في السنوات بين عامي 2005 حتى 2008، حدّدت الطريقة المبتكرة العلاقات في ما بين البيانات المُحصّلة والخواص الكمية الخاصة بالزيت المستخرج. وبناء على نتائج تحليل البيانات التجريبية، صُمّمت البرمجيات وجرى التحقق منها. تتألّف إجراءات التحقق من عملية تكرارية التقائية (Iteratim) تُدخّل تغييرات في البرمجيات، والإجراءات العامة، وتصحيحات محتملة للرياضيات الأساسية للمنظومة، وتقدير للأخطاء، وتحليل إحصائي للبيانات، وتطوير لواجهات مرسومة بيانية جديدة للمستعمل. وأخضعت نتائج المنظومة المبتكرة لمعايير قواعد الاتحاد الأوروبي النافذة، وجرّت مقارنتها بالنتائج الواردة في المنشورات العلمية.

تقديم

يبلغ إنتاج العالم من زيت الزيتون نحو 2.6 مليون طن سنوياً، ومعظمه، أي نحو 77 بالمائة، ذو منشأ أوروبي. وإسبانيا وإيطاليا واليونان هي الدول المنتجة الرئيسية في المنطقة، وإلى حدّ أقل، البرتغال وفرنسا. وأكثر الدول استهلاكاً لزيت الزيتون هي دول الاتحاد الأوروبي التي تستهلك نحو 1.60 مليون طن سنوياً من

أصل الإنتاج الكلي.

ونكهة الزيت هي واحدة من أهم الصفات الغذائية في زيت الزيتون البكر^(*) الفائق النقاء (Extra Virgin Olive Oil) (EVOO)، وهي تؤدي دوراً رئيسياً في رضى المستهلك. ومن أجل تقييم جودة نكهة الزيوت البكر، يُعدُّ التقييم الحسي (Sensory) لمجلس زيت الزيتون الدولي (International Olive Oil Council) (IOOC) الطريقة المثلى عموماً. لقد أُجريت في السنوات الأخيرة محاولات كثيرة للحصول على تقييم أكثر موضوعية لنكهة الزيت، وذلك من خلال تحليل المركبات الطيارة من أجل التنبؤ بالجودة الحسية لزيوت الزيتون. لذا يواجه قطاع إنتاج زيت الزيتون اليوم تحديات تكنولوجية وتجارية هائلة. إن سلسلة عمليات إنتاج زيت الزيتون، المدعومة بالتشريعات (في أوروبا مثلاً، القانون EEC Regulation No. 2081/1992 on D.O.P. and I.G.P)، تُركّز الاهتمام في إنتاج زيت زيتون عالي الجودة على صلة وثيقة بخصوصية المنطقة التي تُعتبر «قيمة مضافة» من غير المرجح الحفاظ عليها باستعمال تصنيف «الزيت البكر الفائق النقاء» (المحدّد بالقانون الأوروبي EEC Regulation No. 2568/91).

إن الحاجة إلى الربط بين جودة المنتج وأرض المنشأ على صلة أكيدة بإمكان تعقب منشأ المنتجات، وهي تمثّل حجر الزاوية في الدفاع عن الإنتاج المحلي وفقاً لما أُقرّ مثلاً في المرسوم الأخير الصادر عن السلطات الإيطالية MIPAAF، والذي يقضي بأن تُشير لصاقات عبوات الزيت البكر والزيت البكر الفائق النقاء بالضرورة إلى الولاية التي جُني الزيتون فيها، وإلى المنطقة التي توجد فيها معصرة الزيتون. من ناحية أخرى، قد حقّق تقليص مدّة جني المادة الخام (الزيتون)، الذي حصل بفضل المكننة المتزايدة، بقطع الثمار حبة حبة فور نضوجها وجمعها ضمن ظروف نوعية وكمية مثلى. وحدّد البحث بروتوكولات تصنيع تمكّن من تحقيق مستويات الجودة المطلوبة في السوق، وذلك بتقليص المدّة بين جمع ثمار الزيتون ومعالجتها في المقام الأول، ورفع المستوى التكنولوجي لخطوط الاستخراج. يُضاف إلى ذلك أن الاستعاضة عن معصرة الزيتون القديمة ذات الدورة المتقطعة (حجر رحي ساحق مع طريقة استخراج بالضغط) بمعصرة مستمرة (ساحق ميكانيكي ومزاج واستخراج بطريقة الطرد المركزي) يمكن

(*) المقصود الزيت الذي لم يدخل عليه أي تصنيع (المترجم).

أن تُعتبر النهج المعياري المباشر اليوم للتوجّه نحو إنتاج زيت زيتون ممتاز (زيت بكر نقي وفائق النقاء). لكن المشكلة الرئيسية في الحصول على زيت زيتون عالي الجودة (فائق النقاء) تكمن في الاختلافات الكبيرة في دُفعات الزيتون من حيث المتوسطات ذات الصلة بالجودة: مكان منشأ الزيتون، ونسب أصنافه في الدفعة التي يحصل عصرها، وسلامته، ودرجة نضجه، ووقت جنيه، وظروف تخزينه. لذا فإن الغرض من عملية الاستمثال هو الحصول على زيت زيتون عالي الجودة بالاستخراج المستمر من دون عقوبة تدني مردود استخراج الزيت. ويمكن تحقيق هذا الهدف (1) بتقليص عيوب الزيتون الناجمة عن كونه غير جيد النمو والجني والحزن، (2) وتعظيم مستوى جودة الزيت المستخرج من زيتون مستمّل النمو والجني والحزن.

تحتوي المنظومات المستعملة في إنتاج زيت الزيتون على بعض المجسّات وتجهيزات القياس المفيدة في مراقبة متوسطات عملية الاستخراج في الزمن الحقيقي (عادة ضمن تغذية مرتجعة في عمليات الخط العليا، أو ضمن منظومة التغذية الكهربائية). وتُحقّق هذه الطرائق الجديدة انتقالاً من الإنتاج الكمي لزيت الزيتون إلى إنتاج أقل يميّز بمنتج أعلى جودة قابل للتسويق. وفي جميع الأحوال، يقوم تعريف متوسطات العملية غالباً على خبرة مشغل المعاصر بشكل فردي، ومن ذلك مثلاً التقييم العياني الشخصي للزيتون في أثناء الفرز، وعلى الانتقاء القائم على الخبرة لموسطات عملية الاستخراج.

تؤدّي هذه الطرائق القائمة على خبرة مشغلي المعاصر إلى بعض الانخفاض في جودة زيت الزيتون المُستخرج. فعدم تجانس المواد الأولية (الزيتون) الناجم عن تنوع المصادر، واختلاف نضج المحاصيل المختلفة، وجودة الزيتون غير القابلة للتقييم بصرياً (الحالة الصحية لكل حبة زيتون) تُشير إلى أن الطرائق المستعملة حالياً في الحزن والتقييم البصري المباشر للزيتون هي غير ملائمة. لذا توجّه كثير من الخبراء والعلميون نحو تحسين إجراءات العمل الهامة في مستويات عامة أو محددة، وفقاً للميّن في المنشورات المتخصصة [1، 2]. إن استمثال ذلك التحسين في جودة الإنتاج يمكن أن يتحقّق بواسطة منظومات تحكّم آلية ضمن خطوط استخراج ميكانيكية قادرة على إدخال تحسينات إجرائية عديدة في الجودة [3]. وفي تسعينيات القرن العشرين، جرى استعمال أول نظام برمجيات لمراقبة عملية الاستخراج والتحكّم فيها

بضبط بعض متغيّرات العملية المهمة، آلياً ويدوياً بأوامر من المشغّل، لتحقيق مردود كبير وزيت عالية الجودة. ومن طرائق التحكّم في دورة الاستخراج المستمرة قياس عدّة موسطات تقنية أثناء استخراج الزيت وتحديد تأثير تلك الموسطات في جودة الزيت المستخرج. ومن الموسطات التي تقاس ويجري التحكّم فيها مثلاً درجة حرارة الزيت في المعجن، ومدة العجن ودرجة حرارة الزيت الخارج من طارد القوة المركزية. وقد استُقصي في بعض المنشورات الحديثة إمكان ابتكار منظومة برمجيات معينة قادرة على التحكّم في عملية الاستخراج وضبط الموسطات ذات الصلة. على سبيل المثال، جرى في المرجعين [4] و[5] استعمال الشبكات العصبونية الصناعية (ANN) في تقدير بعض موسطات زيت الزيتون في طور الاستخراج في الزمن الحقيقي. واستُعملت استراتيجية تنبؤية لاستمثال إنتاجية الزيت مع الحفاظ على معايير الجودة [6]. وأجري تحكّم في جودة الزيت البكر وتوصيف له حاسوبياً في [7]. يُضاف إلى ذلك ابتكار منظومات تقوم على شيء من معالجة الصورة في السنوات الخمس الأخيرة بغية التحكّم في عمليات التفطيش وأتمتها في الزمن الحقيقي باستعمال أجهزة من مثل الكاميرات وأجهزة التحليل الطيفي التي تمكّن من كشف مواصفات الثمار، ووضع مرشحات ضوئية لونية مناسبة في أماكن مختلفة للتمكين من تحليل أجزاء غير مرئية من الثمار بغية فهم خصائصها التي لا يمكن كشفها دائماً من قبل المشغّلين بالعين المجردة. وقد بيّنت بحوث عديدة إمكان تصنيف الثمار على أساس لونها [8]، [9]. وأجريت عدة دراسات على الترابط بين الصورة ودرجة نضج الثمار [10، 11]. وثمة بعض الترابطات المهمة بين شكل الثمرة ولونها وعمرها وتاريخ قطافها في المنشورات [12].

أغراض الفصل الحالي

دفع الاهتمام بهذه البحوث مكتب التطوير والابتكار الزراعي الإقليمي بتوسكانا في إيطاليا إلى تمويل مشروع بحث مدته ثلاث سنوات بهدف إنشاء معصرة زيتون يجري التحكّم فيها بواسطة برمجيات وعتاديات حاسوبية. وبناءً على آخر ما تُوصّل إليه في هذا البحث، يهدف هذا الفصل إلى وصف الابتكارات المتطوّرة التي تحقّقت في هذا المشروع. تخصّص نتائج هذا البحث جميع مراحل إنتاج زيت الزيتون (الجنبي والفرز واستخراج الزيت وتوصيفه كيميائياً وفيزيائياً). وتشرف على المشروع

جامعة فلورنسا بإيطاليا مع شركائها، وهم مخابر التحليل الكيميائي للمنتج، التابعة للوكالة الخاصة لغرفة تجارة فلورنسا وشركة توسكانا إينولوجيا موري. وبتفصيل أكبر، سوف يصف هذا الفصل تطوير عملية استخراج زيت زيتون جديدة مبتكرة منخفضة الأكسدة، وتشتمل على سلسلة من عناصر التحكم الآلي (مجسات، منظومات رؤية آلية... إلخ) في عدة موسطات زراعية وتقنية أثناء طور الاستخراج. وتُتيح هذه المنظومة عدة وضعيات لعملية الاستخراج من أجل التعديل المستمر لخواص جودة الزيت المستخرج. وتمكّن أيضاً من مراقبة تقدّم عملية العجن وغيرها من العمليات الأخرى على خط الإنتاج (المعلقات والمستحلبات).

بكلمات أخرى، قد يعرف مشغلّ معصرة الزيتون سلفاً وبشكل آلي خصائص الزيت المستخرج من معرفته بموسطات محاصيل الزيتون وعملية الاستخراج. وفي هذه الحالة يستطيع مشغلّ المعصرة افتراضياً، ومن خلال البرمجيات، تغيير وضعيات المعصرة بغية الوصول إلى أفضل الظروف الممكنة لإنتاج الزيت من صنف معيّن خام من الزيتون. وبعد استمثال جودة الزيت، يمكن لمشغلي المعصرة أن يباشروا عملية الاستخراج بغية الحصول على المنتج المطلوب.

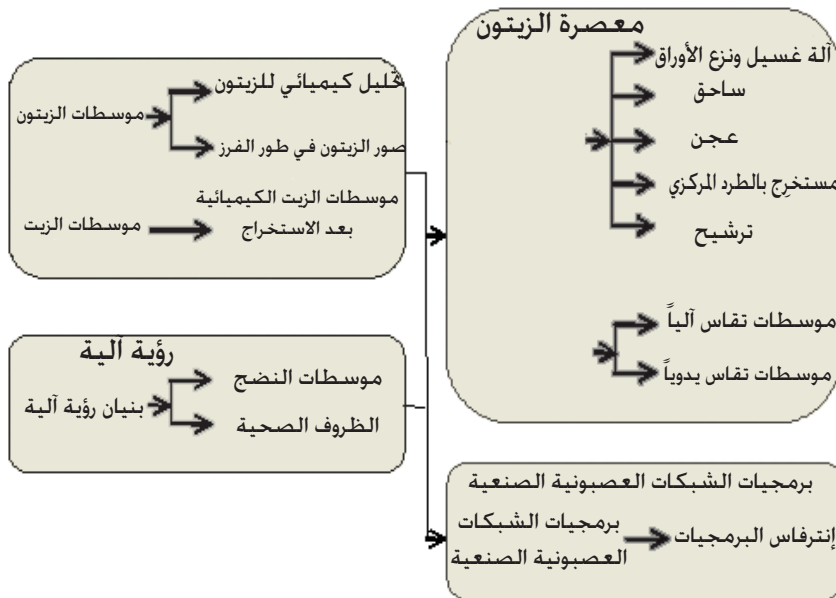
إن المنظومة المبتكرة متكاملة كلياً مع منظومة نمذجة قائمة على تشكيلة من الشبكات العصبونية الصناعية (ANN)، وعلى تصميم للرؤية الآلية (MV). فبمعرفة الجودة المطلوبة لزيت الزيتون في الزمن الحقيقي، (أي البيروكسيدات ومستوى الحموضة والبوليفينول (Polyphenols)... إلخ)، سوف يكون من الممكن تحقيق ضبط فوري للموسطات المؤثرة في تلك الجودة. ويقوم تطوير معصرة الزيتون المبتكرة هذه على نتائج سلسلة من الاختبارات العملية التي أجراها المؤلفون على ثمار منخفضة الأكسدة خلال عمل تجريبي دام ثلاث سنوات.

وبغية تحقيق الغرض من مشروع البحث تمّ القيام ببعض المهام ذات الصلة بتحصيل البيانات التجريبية، وبوضعية معصرة الزيتون، وابتكار العتاديات وتطوير البرمجيات. ويُري الشكل 1 مخططاً بيانياً لتسلسل الأعمال في عملية إنتاج زيت الزيتون يوضّح النهج الذي اتبعه الباحثون لتطوير المنظومة المبتكرة.

إن المهمة الأولى لهذا الفصل هي تقديم بعض البيانات التجريبية التي حُصّلت أثناء السنوات من 2006 حتى 2008. وتتعلق تلك البيانات بكل من الزيتون (في أثناء

طوري الجني والفرز) وزيت الزيتون (بعد الاستخراج). وتتيح البيانات التجريبية التعرف على سلسلة من المتوسطات الزراعية التي سوف تُستعمل لتنفيذ خوارزميات تقدير جودة زيت الزيتون آلياً، ولحاكاة عمل المعصرة. يُضاف إلى ذلك تقييم بعض الترابطات المهمة بين تلك المتوسطات. ثم نُفّدت منظومة رؤية آلية بغية الحصول على معلومات من ثمار الزيتون عن نضجها وحالتها الصحية قبل استخراج الزيت. وتمكّن هذه المنظومة، التي تتألف من عتاديات وبرمجيات معالجة للصورة، من كشف بعض المتوسطات المترابطة على نحو موثوق بحالة الزيتون الصحية، وبنضج ثماره. وباستعمال برمجيات التحكم، تُحصّل بعدئذٍ بيانات تقنية (من قبيل مدّة العجن ودرجة حرارة المعجون والزيت، على سبيل المثال) أثناء الاستخراج. وأخيراً تُستعمل جميع البيانات التي حُصّلت وعودت في الأطوار السابقة لتنفيذ برمجيات المحاكاة. إن كل موصل يتربط مع طور معالجة مختلف، وله تأثير في متوسطات جودة زيت الزيتون، وفقاً لما هو وارد في [4]. وهذا التأثير مبين في الشكل 2.

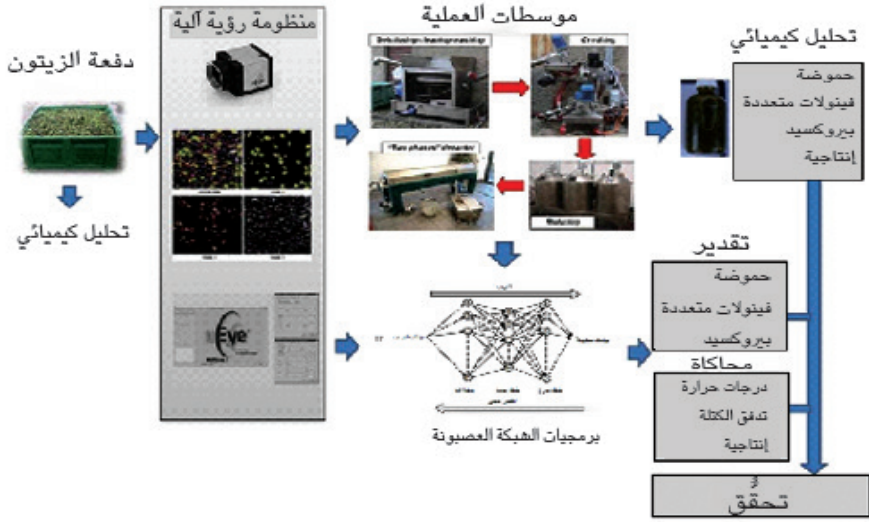
المتوسطات الزراعية والتقنية ووسطات الجودة المستعملة لتصميم برمجيات الشبكات العصبونية الصناعية.



الشكل 1: مخطط بياني لانسياب الأعمال التي طوّرها المؤلفون.

الموسطات	أطوار العملية	الموسطات المنظور فيها	تأثير في الحموضة	تأثير في عدد البيروكسيد	مستعمل لاختيار الشبكة العصبونية	مستعمل لتدريب الشبكة العصبونية
موسطات زراعية	تعليب	مدة جني الزيتون درجة نضج الزيتون سلامة الزيتون	نعم نعم نعم	نعم نعم نعم	لا لا لا	لا لا لا
	خزن	ظروف تخزين الزيتون درجة حرارة الزيتون البداية	نعم نعم	نعم لا	لا لا	لا نعم
موسطات تقنية	سحق	نوع الساحق	نعم	نعم	لا	لا
	مزج	نوع المازج درجة حرارة المزج مدة المزج	نعم نعم نعم	لا نعم نعم	لا لا لا	لا نعم نعم
	استخراج بالطرْد المركزي	نوع الاستخراج درجة تخفيف عجينة الزيتون الداخلة إلى مصفي الطرد المركزي درجة حرارة الزيت الخارج من مصفي الطرد المركزي	نعم نعم نعم	نعم نعم	نعم لا	لا نعم
	فصل الزيت عن الماء	درجة حرارة الزيت الخارج من فاصل الزيت عن الماء	نعم	نعم	لا	نعم
موسطات جودة	تحليل زيت الزيتون	مستوى الحموضة عدد البيروكسيد	- -	- -	- -	- -

الشكل 2: تأثير الموسطات التقنية والزراعية في الحموضة ورقم البيروكسيد.



الشكل 3: تسلسل عمليات المنظومة.

تمكّن المنظومة بعد اكتمال تطويرها من قياس الموسطات على طول خط الإنتاج، ومحاكاة عمل المعصرة وتقييم جودة زيت الزيتون. يُري الشكل 3 تسلسل العمل في المنظومة. الخطوة الأولى هي توصيف الزيتون في طور الفرز بواسطة التحليل الكيميائي ومنظومة الرؤية الآلية من أجل كشف بعض خواص المادة الخام (موسطاتها زراعية) التي سوف تُعالج (اللون، والسلامة، والنضج، والمحصول، والمحتوى من السكر والمركبات الفينولية... إلخ). وبواسطة مجموعة من المجسات المثبتة على آلات المعصرة يمكن قياس بعض موسطات العملية (درجات الحرارة، والتدفق الكمي، وتغذية الآلات... إلخ). وتُستعمل الموسطات الزراعية والتقنية مُدخلات إلى منظومة البرمجيات، أي إن البرمجيات المصمّمة تعالج جميع بيانات هذه المُدخلات بغية محاكاة العملية، وتُعطي في خرجها تقديراً موثقاً لبعض خواص الزيت قبل استخراجه فعلاً. بذلك يمكن للمعصرة أن تحدّد موسطات العملية بهدف الحصول على أفضل جودة يمكن أن تعطيها دفعة الزيتون التي هي في قيد المعالجة. وبعد برمجة الوضعيات، يمكن للمعصرة البدء باستخراج الزيت. ويمكن إرسال الزيت إلى المخبر الكيميائي لتقييم خواص مذاقه، ثم تُقارن نتائج البرمجيات مع تلك الواردة من المخبر.

ترتيب الفصل

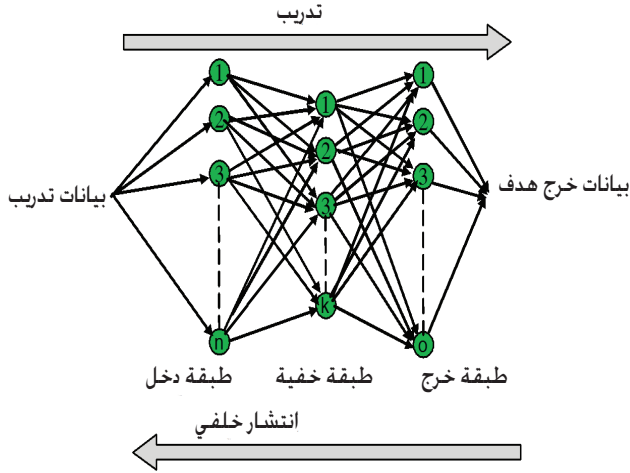
- وفقاً للتسلسل الميّن في الشكل 1، جُزئ الفصل الحالي إلى الأقسام الآتية:
- المقطع 1: مقدّمة للرؤية الآلية والشبكات العصبونية الصناعية.
- المقطع 2: تحصيل البيانات التجريبية (الموسطات الزراعية) للسنوات 2006 و2007 و2008.
- المقطع 3: وصف لمعصرة زيتون مبتكرة ولا استخراج موسطاتها التقنية.
- المقطع 4: خوارزميات لتحليل الزيتون قائمة على معالجة الصورة.
- المقطع 5: برمجيات مبتكرة قائمة على الشبكات العصبونية الصناعية: تقدير البيروكسيدات ومستوى الحموضة ومركبات الفينول في أثناء عملية الاستخراج.
- المقطع 6: الوصل البيني للبرمجيات.
- المقطع 7: النتائج.
- العمل المستقبلي.
- الخاتمة/ الاستنتاج.

1. مقدّمة للرؤية الآلية والشبكات العصبونية الصناعية

أحد الأغراض الرئيسية للعمل الحالي هو تصميم منظومة نمذجة تقوم على تشكيلة من الشبكات العصبونية الصناعية والرؤية الآلية. ويتضمّن المقطع الحالي وصفاً مختصراً لهاتين التكنولوجيتين الواسعتي الانتشار. تتكوّن بنية الشبكة العصبونية من مجموعة من المعالجات المتوازية الموصولة معاً على شكل مخطّط بياني موجّه مرتّب بحيث تتلاءم هيكلية الشبكة مع المسألة التي هي قيد النظر. وتُحاكي هذه المنظومة المحوسبة البنية المكروية لمنظومة الأعصاب الحيوية. وباستلها من العصبونات الحيوية، تتكوّن الشبكة العصبونية الصناعية من عناصر بسيطة تعمل بالتوازي، أي إن الشبكات العصبونية هي تجمّع عنقودي بسيط مكوّن من عصبونات صناعية أولية. ويمكن تدريب هذه الشبكات على القيام بمهام معينة، إما باستعمال معلومات من خارج الشبكة، أو بواسطة العصبونات نفسها استجابة لدخل ما للشبكة. تُحصّل الشبكة معارفها من البيئة المحيطة بها من خلال عملية التدريب والتعلّم، وتُستعمل شدّات الوصلات بين العصبونات، وتُعرّف بالأوزان العصبونية، لخرن المعارف المحصّلة. وتستطيع الشبكة العصبونية الصناعية المدربة جيداً تعميم

المعلومات على أساس المتوسطات المحصّلة أثناء طور التدريب. وبغية تعليم الشبكة تقدير قيم البيروكسيدات ومستوى الحموضة مثلاً، ثمة حاجة إلى مجموعة تدريب ملائمة، وإلى مجموعة قيم مرجعية مناسبة. لقد دُرِّبَت الشبكات العصبونية لإجراء وظائف معقدة في الحقول المختلفة، ومنها تعرّف الأشكال وتحديد الهوية والتصنيف وتعرّف الكلام والرؤية ونظم التحكّم. ويمكن اليوم تدريب الشبكات العصبونية على حلّ مسائل يصعب على الحواسيب الشائعة أو البشر حلّها. وقد جرى عموماً تركيز الاهتمام في صندوق العدة على أنماط الشبكات العصبونية التي تبني نفسها، أو التي تستخدم للتطبيقات الهندسية والمالية والعملية الأخرى. أما البحث في تطبيقات الشبكات العصبونية في علم الزراعة فقد حصل بمعظمه في العقد الأخير، وذلك في مجال التنبؤ بالمرود والنمذجة المكانية والاستشراف المكاني الزمني بصورة رئيسية. وبالاعتماد على الشبكات العصبونية، استُعملت عدة طرائق للتحكّم في المنظومات اللاخطية غير واضحة المعالم التي تظهر غالباً في مجال الزراعة. وقد ابتكر المؤلفون برمجيات شبكات عصبونية صناعية لتقدير متوسطات جودة زيت الزيتون في الزمن الحقيقي أثناء استخراج الزيت المستمر. وفي هذا الفصل، استُعملت بعض الشبكات العصبونية ذات التغذية الأمامية والانتشار الخلفي (FFPB). تميل شبكات الانتشار الخلفي المدربة تدريباً ملائماً إلى إعطاء أجوبة معقولة حينما تُقدّم إليها مُدخلات لم ترها قط من قبل. وعادة يؤدي الدخل الجديد إليها إلى خرج مشابه للخرج الصحيح الناجم عن قيم شعاع دخل استُعملت في التدريب وتمائل الدخل الجديد. وتمكّن خاصية التعميم تلك من تدريب الشبكة على مجموعة مرجعية من أزواج الدخل والخرج والحصول على نتائج جيدة من دون تدريب الشبكة على جميع أزواج الدخل والخرج الممكنة. وتتكوّن شبكة التغذية الأمامية والانتشار الخلفي (FFBP) عادة من مجموعة مداخل، وطبقة خفيّة، وخرج وتوابع تثقيل. وتُرتب العصبونات الصناعية في طبقات، وتوضع طبقة أو أكثر من الطبقات الخفية الوسيطة بين طبقتي الدخل والخرج، وترسل الطبقات إشاراتهما «إلى الأمام». ويوجد في كل طبقة عدد من العصبونات (Neurons) الموصولة مع عصبونات أخرى في الطبقات المجاورة عبر وصلات وحيدة الاتجاه. ويُسمح للمعلومات بالتدفق باتجاه واحد فقط في أثناء عملية التدريب، وذلك من طبقة الدخل إلى طبقة الخرج عبر الطبقات المخفية [17]. ويمكن أن يكون هناك أي عدد من الطبقات الخفية في بنية الشبكة. وتوجد في الطبقة الخفية مصفوفة أوزان تشبيك عصبوية Wm مقترنة بجميع الوصلات الخارجة من

طبقة الدخل إلى الطبقة الخفية. ويُفترض أن تكون أُنقال التشبيك العصبوية ثابتة، وعلى عملية التدريب ضبطها لتحقيق المطابقة المرجوة. ويُري الشكل 4 مثلاً لبنية شبكة عصبوية صناعية أمامية التغذية خلفية الانتشار.



الشكل 4: مثال لشبكة عصبوية أمامية التغذية خلفية الانتشار ذات n طبقة دخل، و h طبقة خفية، و o طبقة خرج.

من أجل تدريب الشبكة، ثمة أنواع مختلفة كثيرة لخوارزمية الانتشار الخلفي، والخوارزمية المستعملة في الفصل الحالي هي خوارزمية ليفميرغ - ماركواردت (Levenberg - Marquardt). وهي خوارزمية «شبه نيوتونية» يتخذ فيها تابع الأداء e شكل مجموع مربعات (وهو الشائع في تدريب الشبكات الأمامية التغذية)، ويمكن تقريب المصفوفة الهسيانية (Hessian) على هذا النحو:

$$(1) \quad H = J^T \cdot J$$

يمكن حساب التدرُّج [الميل (Gradient)] وفقاً للشكل الآتي:

$$(2) \quad G = J^T \cdot e$$

حيث J هي المصفوفة الجاكوبية التي تحتوي على المشتقات الأولى لأخطاء الشبكة بالنسبة إلى الأثقال (الأوزان) والانحرافات، و e هو شعاع أخطاء الشبكة.

شهدت تكنولوجيا الرؤية الصناعية، التي طُوِّرت أصلاً للتطبيقات العسكرية، نمواً وتطوراً كبيرين في الصناعة والخدمات في السنوات الأخيرة. وشجعت القدرة

الحاسوبية المتزايدة، وتكلفتها المتناقصة، على إدخال هذه المنظومات في تطبيقات لا تحصى مع بقاء التكلفة بالنسبة للشركات منخفضة. تتكوّن منظومة الرؤية الآلية من إلكترونيات بصرية ومكوّنات ميكانيكية متكاملة معاً، وتمكّن المنظومة من تحصيل الصور ومعالجتها في كل من مجالات الضوء المرئي وتحت الأحمر القريب NIR وفوق البنفسجي. وتتألف منظومة الرؤية الآلية العادية من المكوّنات الآتية:

- 1- كاميرا رقمية أو تماثلية واحدة أو أكثر (تصوير ملوّن أو أبيض وأسود) مع عناصر بصرية مناسبة لتحصيل الصور.
- 2- مضيء مناسب.
- 3- كاميرا لتواصلٍ بيني لرقمنة الصور (يُعرف على نطاق واسع بلاقط الإطار).
- 4- معالج (حاسوب شخصي عادة أو معالج مبني ضمن المنظومة مثل معالج الإشارة الرقمي (Digital Signal Processor) (DSP)).
- 5- برنامج لمعالجة الصور ولكشف السمات المطلوبة. تسمّى الخوارزميات المستعملة لمعالجة الصور الملتقطة بتقنيات معالجة الصورة. وفي التطبيقات الصناعية، تعمل منظومة الرؤية الآلية غالباً ضمن خطّ عملية الإنتاج، وهي مفيدة على وجه الخصوص في الآتي:
 - عمليات التحكم الآلية (التعامل الآلي لمكوّنات العملية).
 - مزامنة الأعمال.
 - إدارة إنذارات حينما تكشف منظومة الرؤية انحرافاً عن مستويات العمل الطبيعي.
 - نقل بيانات التحكم، أو معالجة ونقل البيانات الإحصائية الدورية.

وفي كثير من الصناعات الزراعية، يُجري باحثون من مختلف أنحاء العالم العديد من الأعمال في مجال معالجة الصورة. وفي هذا السياق، تقوم الممارسات الشائعة في معظم الشركات على إمكان بقاء خبراء التحكم في الميدان حيث يُفوّضون بكشف العيوب خلال العمليات، أي ليس في الزمن الحقيقي. وهذا يعني أنه يمكن اختصار مراحل غير ضرورية من سلسلة الأعمال، وذلك بتوفير منظومة تحكم تعمل أثناء

كامل العمليات نفسها. وقد طُوِّر كثير من تطبيقات الرؤية الآلية في مجالات غير تلك الواردة في هذا المشروع، ومنها صناعة النسيج. فعلى غرار صناعة الأغذية الزراعية، يتصف قطاع النسيج بمنتجات هشة تحتاج غالباً إلى تحديد المتوسطات أولاً قبل تحليل الصور. لذا فإن كثيراً من التكنولوجيات المستعملة في هذا المجال يمكن أن تُنقل إلى قطاع الزيتون. وقد طُبِّقت تقنيات معالجة الصورة في مجال تحليل الفواكه والخضروات من أجل تقدير خواصها المذاقية إضافة إلى تحديد متوسطاتها الجمالية. ويحتوي المرجع [13] قائمة ببعض الخوارزميات التي تمكّن من تصنيف الفواكه على أساس أشكالها وحجومها، ومنها البطيخ الأحمر والخيار والكرنبولا. وقد اكتُشفت ترابطات مهمة بين بيانات أشكال وألوان وهرم الثمار [12] ومع تواريخ قطفها في السنوات الأخيرة للتفاح. وأُخضعت البندورة (الطماطم) إلى تحليل بغية كشف أي تلف أو عيب فيها. وبسبب بعض العوامل (تغيّر لون الفاكهة من أخضر إلى أحمر في مرحلة النضج، مثلاً)، لم يحصل الباحثون على نتائج مرضية، ولذا ثمة حاجة إلى مزيد من الدراسة [14]. ويرتبط مقدار الزيت الموجود ضمن لبّ الثمار الصغيرة مباشرة مع بعض الخواص البصرية في الحيز الأحمر والأزرق والأخضر، على غرار ما هو موجود في النخيل [15]. وفي السنوات الأخيرة، أُجري بحث في الانعكاسية (Reflectance) (نسبة شدة الإشعاع المنعكس إلى شدة الإشعاع الوارد) [16] والتألق (Fluorescence) (الذي يحصل في بعض المواد بتردد يساوي ضعف أصغر تردد في الأشعة المستقبلية) في المجالين المرئي وتحت الأحمر القريب لأنواع مختلفة من الفواكه، وذلك باستعمال كاميرات مزوّدة بتجهيزات تحليل متعدّد الأطياف، ومصادر ضوء من أجل تحديد عيوب الفواكه السطحية والتلف الميكانيكي والعوامل المرضية فيها.

2- تحصيل البيانات التجريبية للأعوام الثلاثة 2006 و2007 و2008

تحتاج منظومة مراقبة معصرة الزيتون المحوسبة التي صُمّمت إلى سلسلة من البيانات التجريبية التي يجب تحصيلها. لذا، ومن أجل تصميم البرمجيات وفقاً لما ورد في المقطع 5 ولما هو مبين في الشكل 1، فإن المهمة الأولى في هذا الفصل هي تقديم بعض البيانات التجريبية التي حُصّلت خلال السنوات من 2005 حتى 2008. وهذه البيانات ذات صلة بكل من الزيتون (في طوري الجني والفرز)، وزيت الزيتون (بعد الاستخراج). إن البيانات التجريبية مفيدة في كشف سلسلة المتوسطات الزراعية التي

سوف تُستعمل في تنفيذ خوارزميات التقييم الآلي لجودة زيت الزيتون، ولمحاكاة المعصرة. يُضاف إلى ذلك أنه قد أُجري تقدير لبعض الترابطات المهمة بين هذه المتوسطات، اعتماداً على المراجع وعلى نتائج التحليل التجريبي.

1.2 التوصيف الكيميائي للزيتون والزيت: المواد والطرائق

تهدف كل حملة تجريبية إلى تحصيل بيانات عن كل من الزيتون والزيت المستخرج. لذا جُمع كل سنة 500 غرام من الزيتون من كل دفعة من الزيتون الذي سوف يُعالج، وحُفظت في أكياس بلاستيكية، ثم أُرسل الزيتون إلى مخبر الكيمياء. جُمِد الزيتون أولاً في النيتروجين السائل عند درجة الحرارة 200°C مئوية، ثم وُضع في جَمَادَة عند 30°C - من أجل الحفاظ على خصائصه الكيميائية والفيزيائية. وبعد انتهاء التجربة، كان الزيتون المتجلد يذاب ويحلل. وبتفصيل أكبر، يُمكن التحليل من قياس المتوسطات الآتية:

- المحتوى من الماء
- المحتوى من السكر
- المحتوى من الزيت
- المحتوى من الفينول

جرى قياس المحتوى من الماء (g/ kg) في ثمار زيتون منزوعة البذور، وذلك بوضع 15 غرام من لب الزيتون في فرن درجة حرارته تساوي 105°C حتى أصبح وزنها ثابتاً. وجرى قياس محتواها الكلي من السكر بطريقة UNI 22608 [18] التي عُدلت وفقاً للوصف الآتي. أُجري أولاً قياس كهربائي للجهد (Potentiometric Determination). يمكن للطريقة المتبعة تحديد المحتوى من السكر على نحو غير مباشر، إذ جرى تحديد جميع الجزئيات ذات وظيفة كربونيلية (Carbonylic) قابلة للأكسدة إلى وظيفة حمضية. ونُزعت بذور الزيتون بواسطة مبضع، وجرت مجانسة اللب الناتج (نحو 10 غرام) ضمن نحو 60 ملل من الماء المنزوع الأيونات بواسطة جهاز من الشركة ULTRA TURRAX. ووُضع الناتج المُجانَس ضمن دورق سعته 200 ملل ونُقِل إلى براد درجة حرارته 4°C حيث بقي مدة ساعتين. ومكّن طوراً المجانسة والوضع في البراد من استخراج السكر الموجود في لب الزيتون. وبعد ساعتين، أُضيف 5 ملل من محلول منقّى بطريقة كَرَز (Carrez II) و5 ملل من محلول

منقى بطريقة كرز، مع الهز جيداً بعد كل إضافة. واستعمل كلا المحلولين لترسيب المواد مثل الألدهيدات (Aldehydes) والفينولات المتعددة (Poliphenols) والأنثوسيانينات (Anthocyanins) التي يمكن أن تتداخل مع تحديد نسبة السكر. ومليء الدورق بالماء المنزوع الأيونات، ورشح كامل السائل باستعمال مرشح ورقي. وكانت الرشاحة هي المحلول الذي جرى قياسه بغية تحديد المحتوى المخفض من السكر. فمن أجل تحديد السكر بعد التحويل، جمعت 50 ملل من المحلول المرشح ووضعت في دورق سعته 100 ملل حيث أضيفت 5 ملل من حمض الكلور HCl بنسبة حجمية تساوي 37%، واستعملت لتحقيق تحويل للسكريدات الثنائية (Disaccharides). ومن أجل إكمال تفاعل التحويل، أبقى الدورق في مغطس ماري عند درجة حرارة بين 65°C و 68°C مدة 5 دقائق. وأخرج المحلول إلى درجة حرارة الغرفة ثانية وحيداً حمضياً بـ NaOH بنسبة 20% باستعمال الفينولفتال (Phenolphthale) المحلول بنسبة 1% بوصفه مؤشراً. وأعيد المحلول إلى حجمه باستعمال ماء منزوع الأيونات. وأجريت معايرة السكر باستعمال معاير آلي (من شركة Crison, Compact Titrator Model, Modena, Italy). وجرى ضبط المعاير الآلي أسبوعياً باستعمال محاليل معروفة عند تراكيز سكر مختلفة، واستعمل لتحديد السكر ألياً باستعمال المعايرة بالقياس اليودي مع كواشف فيلينغ (Fehling). وعُبر عن نتائج السكر في الأجهزة بالغرام من السكر لكل ملي لتر (ملل) من المحلول، ومنها اشتقت كمية السكر منسوبة إلى 1 كغ من الزيتون. ثم نُسب المحتوى من السكر إلى 1 كغ من المادة الجافة. وحُدّد المحتوى الكلي من الزيت باستعمال 10 غرامات من لبّ الزيتون المحفّف سابقاً حتى الوصول إلى وزن ثابت. واستخرجت العينات بواسطة الهكسان (Hexane) ضمن مُستخرج راندال الآلي (من شركة Randall extractor mod. 148, Velp Scientifica, Milan, Italy). وأخضعت العينة في البداية إلى التغطيس مدة 60 دقيقة عند 139°C. وغُطّست حاوية العينة المسامية مباشرة في المذيب الغالي، ثم أخضعت العينة إلى طور غسيل مدة 40 دقيقة عند 139°C. ثم أزيلت حاوية العينة من المذيب وغُسلت بالتكاثف الراجع. وفي أثناء طور الاستعادة الذي دام مدة 30 دقيقة عند 139°C، استُعيد المذيب المستعمل. وقدّرت النتائج بالغرام للكيلو غرام من المادة الجافة. وقدّر المحتوى الكلي من الفينول من خلال الاستخراج بواسطة مزيج الميثانول والماء بنسبة حجمية تساوي 40:60. واستعمل المستخلص الهيدروألكولي لتحديد المحتوى الفينولي باستعمال

قياس الطيف اللوني بواسطة مقياس طيف لطول الموجة 756 نانو متر، مع كاشف فولين تشوكالتاو (Folin Ciocalteu) [19]. أمّا وحدة محتوى الزيتون من الفينول فهي مليّ غرام من حمض الغلّيك للكيلو غرام من الزيتون (mg of gallic acid/ kg of oil) [20].

وجرت معالجة كل دفعة من الزيتون بواسطة المعصرة الموصوفة في المقطع التالي لاستخراج زيت بَكر فائق النقاء. ومن أجل كل صنف من الزيت المستخرَج، جرت تعبئة زجاجة حجمها 500 ملل وأُرسلت إلى المخبر حيث حُفظت في مستودع مظلم عند درجة حرارة 15-18 درجة مئوية. ثم حُلّل الزيت وفقاً للمعيارين الآتيين:

- CE 2598/91، الملاحق والتحديثات اللاحقة: خصائص زيت الزيتون وزيت ثفل الزيتون، وطرائق التحليل ذات الصلة (الجودة القانونية لزيت الزيتون).
- CE 510/06: المؤشرات الجغرافية المحمية (Protected Geographical Indication) لتقييم جودة زيت الزيتون.

ووفقاً لهذين المعيارين، جرى قياس المتوسطات الآتية لكل زجاجة مختارة من الزيت المستخرج:

- الحموض الدهنية الحرّة.
- قيمة البيروكسيد.
- قرائن القياسات الطيفية.
- المركبات الفينولية.
- المحتوى الكليّ من الفينول.
- مركّبات التوكوفيرول (Tocopherol).
- المركّبات الطيارة في الزيت البَكر.
- التقييم الحسي.

وجرى قياس الحموض الدهنية الحرّة (النسبة المئوية لحمض الأوليك (Oleic Acid))، وقيمة البيروكسيد (مليّ مكافئ لـ O²/kg)، وقرائن القياسات الطيفية وفقاً لطريقة الاتحاد الأوروبي الرسمية [21]. وجرى قياس المركّبات الفينولية

(سيكوإيريديودات (Secoiridoids) ومشتقاتها) بواسطة الكروماتوغرافيا السائلة العالية الأداء (HPLC) (High-Performance Liquid Chromatography) وفقاً للطريقة NGD C 89-2007 [23]. تقوم هذه الطريقة على الاستخراج المباشر للمركبات القطبية الضئيلة الفينولية الحيوية من زيت الزيتون بواسطة محلول ميثانول، ومن ثمّ تحديد الكمية بطريقة HLPC بمساعدة كاشف ضوء فوق بنفسجي عند طول الموجة 280 nm نانومتر. واستعمل حمض السيرينج (الحقني) (Syringic Acid) بوصفه معياراً داخلياً. وقُدِّر المحتوى من الأوليوروين (Oleuropein) الطبيعي والمؤكسد، ومشتقات الليغستروسيد (Ligstroside) والليغنانات (Lignans)، وحموض الفينول والفلافونويدات (Flavonoids) بالمع/كغ من التيروسول (Tyrosol). وفي حالة زيت الزيتون أيضاً، جرى قياس المحتوى الفينولي بواسطة مُستخلص مع مزيج ميثانول مع كاشف فولين تشوكالتاوا. أما وحدة محتوى زيت الزيتون من الفينول فهي ميلي غرام من الحمض الغليكي للكيلو غرام من زيت الزيتون [20]. وحُدِّدت مركبات التوكوفيرول باستعمال المنهجية الواردة في [24]. وقُدِّرت النتائج بالملي غرام من التوكوفيرول للكيلو غرام من زيت الزيتون. وجرى قياس المركبات الطيارة في الزيت البكر بواسطة الاستخلاص المكروي في الطور الصلب (Solid-Phase Microextraction) من الحيز العلوي الديناميكي مع كروماتوغرافيا الغاز وقياس الكتلة الطيفي [26]. فقد وُزن نحو 4.5 غرام من الزيت في أنبوب اختبار ذي غطاء مُحلزن وعُرض إلى ليف استخلاص مكروي في الطور الصلب (الليف من النوع 30 µm DVB Carboxen/PDMS /50 Stabeflex, Supelco, Bellefonte, PA, USA) ضمن ظروف زمنية حرارية مثالية للوصول إلى حالة التوازن في الحيز العلوي الفارغ من أنبوب الاختبار. كانت درجة الحرارة 40°C، وكانت مدة ما قبل الحضانة من دون ليف 5 دقائق، وكانت مدة التعريض 40 دقيقة. وبعد هذه المدة، التُفِظ الليف مباشرة ضمن حاقن كروماتوغرافيا الغاز. ونُفِّذ فصل المركبات بواسطة كروماتوغرافيا غاز على ليف (Supelcowax) طوله 30 متراً، وقطره 0.25 ميليمتر، عند طول موجة 0.5 µm وزيادة 3°C مئوية/ دقيقة. وكانت درجة حرارة الحاقن في كروماتوغرافيا الغاز 260°C، وكان الهليوم هو الغاز الحامل بمعدل 0.8 ملل/ دقيقة. وكانت درجة حرارة خط النقل 250°C، وكان التدرُّج الحراري وفقاً لما يلي: 40°C مدة دقيقتين، و 3°C/ min حتى الوصول إلى 220°C، و 220°C مدة دقيقتين. وفي ما يخصّ قياس الكتلة الطيفي، كانت درجة حرارة المنبع الأيوني 200°C. وحُدِّدت المركبات الطيارة بالمقارنة بمكتبة برمجيات. وحُسبت مقادير نسبية من المركبات الطيارة على أساس

جزء من مليون (ppm) بطريقة المعيار الداخلي وباستعمال 4-ميثيل - 2 - بتانول معياراً داخلياً. وأُجريت المعايرة بطريقة منحنى المعايرة (Calibration Curve) لكل مركب طيار كانت ثمة حاجة إلى حساب عامل استجابته. وأُجري التقييم الحسي لزيت الزيتون وفقاً لطريقة الاتحاد الأوروبي الرسمية [27]. إلا أنه جرت زيادة عدد التوصيفات على ورقة التقييم الرسمية بغية الحصول على وصف مفصّل للإحساس بالطعم. وقد طُلب إلى ثمانية ذواقين محترفين تقييم عينات الزيت.

2.2 حملة تجارب عام 2006

أثناء فترة الجني عام 2006، جرى انتقاء 75 صنفاً مختلفاً من الزيتون من 75 محصولاً أعدت للمعالجة. ويتضمن الجدول 1 بعض نتائج التحليل الكيميائي الذي أُجري على تلك الأصناف التي وُسِّمت بهوية مخبرية.

واستُخرج من كل صنف من الزيتون زيت بكر جرى تحليله كيميائياً بالطرائق المذكورة آنفاً. ويتضمن الجدول 2 بعض نتائج التحليل. ويتضمن الجدول 3 نتائج استخراج مركبات قطبية ثانوية ونتائج تحليل الكروماتوغرافيا السائلة العالية الأداء HPLC. ويتضمن الجدول 4 بعض النتائج الخاصة بمركبات عضوية طيارة أتت من مسلك (Lipoxygenase) (LOX)، وجرى تحديدها بطريقة قياس الكتلة الطيفية والكروماتوغرافيا الغازية والاستخلاص المكروي في الطور الصلب من الحيز العلوِي الفارغ HS-SPME-GC-MS.

الجدول 1: بعض نتائج التحليل الكيميائي للزيتون.

الهوية المخبرية	نسبة الماء (غ كغ ⁻¹)	نسبة الزيت الكلية (غ كغ ⁻¹)	نسبة الفينول (مغ كغ ⁻¹)	نسبة السكر الكلية (غ كغ ⁻¹)
060009	65.90	57.35	27008	72.12
060010	69.70	61.51	25332	67.31
060011	71.20	58.43	34511	88.47
060012	68.70	57.18	27208	87.95
060013	68.80	65.18	27246	111.10

87.99	36499	55.98	66.30	060014
47.09	12384	53.94	60.90	060015
73.42	26519	60.89	66.50	060016
56.70	21540	65.84	63.80	060020
73.52	24441	58.13	61.60	060021
62.01	19922	60.53	64.30	060022/1

الجدول 2: المحتوى الكيميائي لبعض الزيوت المستخلصة بواسطة عملية الاستخراج.

		قراءن طيفية					
مركبات التوكوفيرول (مغ/ كغ)	مركبات الفينول الكلية (مغ/ كغ)	ΔK	K_{270}	K_{232}	عدد البيروكسيد (meq O ₂ /kg)	الحموض الدهنية الحرة (% oleic acid)	الهوية المخبرية
379	266	-0.01	0.11	1.66	4.8	0.21	060009
388	264	-0.01	0.14	1.69	5.3	0.16	060010
365	255	0.00	0.07	1.60	4.3	0.14	060011
361	283	0.00	0.14	1.64	4.3	0.16	060012
300	302	0.00	0.13	1.56	4.2	0.17	060013
272	324	0.00	0.12	1.48	3.2	0.16	060014
286	271	0.00	0.18	1.54	4.1	0.19	060015
306	185	0.00	0.19	1.57	6.0	0.21	060016
201	282	0.00	0.16	1.48	3.9	0.23	060020
275	231	0.00	0.10	1.49	3.6	0.18	060021

الجدول 3: بعض نتائج تحليل الكروماتوغرافيا السائلة العالية الأداء.

060021	060020	060016	060015	060014	060013	060012	060011	060010	060009	الهوية المخبرية
36.22	24.83	30.79	36.88	32.56	32.94	38.30	39.44	43.89	41.50	Aldehydic form of Oleuropein aglycon
9.82	7.17	6.37	8.51	7.08	6.99	7.76	6.41	8.35	9.27	Aldehydic form of ligstroside aglycon
5.74	1.83	7.43	4.23	3.62	3.06	7.76	13.50	6.05	9.12	Dialdehydic form of Oleuropein aglycon
19.15	3.20	5.88	3.73	1.93	1.50	4.28	4.82	4.18	4.16	Dialdehydic form of ligstroside aglycon
14.92	13.19	11.41	14.13	14.02	12.87	17.07	14.28	15.69	16.56	Aldehydic form of Oleuropein aglycon oxidized
28.32	28.49	64.94	59.71	86.39	87.19	111.26	88.90	100.77	96.59	Decarbossimetil Oleuropein aglycone (di aldehydic)
9.54	0.81	9.07	5.90	4.58	4.44	9.43	20.24	13.61	10.92	Decarbossimetil Oleuropein aglycone (di aldehydic) oxidized
29.84	30.91	30.24	34.27	30.05	34.68	28.70	18.62	31.94	32.47	Dialdehydic form of decarbossimetil ligstroside aglycon
7.99	9.59	7.64	7.38	8.98	7.20	6.84	6.20	7.62	8.74	Dialdehydic form of decarbossimetil ligstroside aglycon oxidized
3.74	3.29	2.43	2.72	3.26	2.28	2.86	2.22	2.83	3.54	Hydroxytyrosol
2.04	3.91	2.76	1.04	1.27	1.29	1.72	1.80	1.93	2.18	Tyrosol
54.00	21.32	62.79	36.33	29.54	22.44	19.18	26.47	38.91	31.41	Pinoresinol+1-Acetoxy-pinoresinol
293.00	209.00	307.00	291.00	298.00	292.00	344.00	318.00	365.00	366.00	Total phenol compound at 280nm

الجدول 4: بعض نتائج المركبات العضوية الطيارة التي حُصِّلت أثناء مسار LOX،
وُحِّدَت بواسطة طريقة مطياف الكتلة وكروماتوغرافيا الغاز والاستخلاص في
الطور المكروي في الحيز العُلوي الفارغ HS-SPME-GC-MS.

60021	60020	60016	60015	60014	60013	60012	60011	60010	60009	الهوية المخبرية
1.50	1.76	2.07	2.53	1.59	2.71	3.56	2.16	1.28	1.42	Hexanal
2.80	0.52	0.65	1.07	0.66	0.65	1.15	0.65	0.60	0.69	Hexyl alcohol
0.09	0.18	0.09	0.06	0.06	0.08	0.07	0.12	0.07	0.23	Hexyl acetate
4.40	2.46	2.81	3.66	2.31	3.44	4.79	2.93	1.95	2.33	Sum C6 by Ln
1.06	1.59	2.73	3.18	2.44	2.48	3.62	2.45	2.03	2.13	(Z)-3- Hexen-1-ol
12.56	13.97	13.72	14.05	13.99	16.58	15.76	14.11	15.51	14.98	(E)-2- Hexenal
5.30	1.08	1.00	0.56	1.32	1.24	0.63	1.32	1.77	1.77	(E)-2- Hexen-1-ol
0.13	0.40	0.34	0.27	0.23	0.23	0.09	0.47	0.44	0.62	(Z)-3- Hexenyl acetate
0.09	0.12	0.13	0.10	0.09	0.12	0.15	0.23	0.12	0.31	(E)-2- Hexenyl acetate
19.13	17.17	17.91	18.15	18.07	20.65	20.25	18.58	19.88	19.81	Sum C6 by LnA

3.2 حملة تجارب عام 2007

أثناء حملة تجارب عام 2007، أُجري عدد محدود من الاختبارات التجريبية من أجل استقصاء بعض السمات التي كانت موجودة في الحملة السابقة، كانت غير المفهومة إلى ذلك الوقت. وقد استُعملت البيانات المحصَّلة للتحقق من البرمجيات المذكورة في المقطع 5. ولهذا الغاية، اختيرت معصرة تقع في مقاطعة فلورنسا، ورُمِّت هنا ب «A»، لاستعمالها في هذه الحملة التجريبية. وكان الغرض الرئيسي من هذه التجارب معرفة حالة الزيتون الصحية ومقدار نضجه. يُضاف إلى ذلك

أنه جرت مراقبة البيانات البيئية (المطر ودرجة الحرارة وغيرهما) للمنطقة أثناء جني الزيتون. واختيرت أيضا ست معاصر أخرى تقع في منطقة توسكانا الإيطالية ذات المناخ المائل بغية استعمالها في الحملة بافتراض اتصاف المادة الخام بخصائص متشابهة. وتم استخراج أربع عينات متماثلة من المعصرة A في أربع فترات مختلفة (أي بأربع درجات مختلفة من النضج). وفي ما يخص المعاصر الأخرى، المرمزة بـ «B» حتى «E»، أخذت عينة واحدة من كل فترة جني وحلّل الزيت. ويتضمن الجدول 5 المحتوى الكيميائي للزيوت المأخوذ من المعصرة A معرفة بفترات الجني المختلفة.

الجدول 5: المحتوى الكيميائي لزيت استخرج في معصرة الزيتون A بدلالة وقت الجني.

نسبة الفينول (مغ كغ ⁻¹)	نسبة السكر الكلية (غ كغ ⁻¹)	نسبة الزيت الكلية (غ كغ ⁻¹)	نسبة الماء (غ كغ ⁻¹)	تاريخ الجني	
15715	58.38	467.10	46.6	27-10-07	المعصرة A
16957	40.60	431.10	52.0	03-11-07	المعصرة A
6243	44.70	469.00	51.9	10-11-07	المعصرة A
10851	58.42	508.90	46.5	17-11-07	المعصرة A

ويتضمن الجدول 6 نتائج المحتوى الكيميائي للزيت المستخرج في المعاصر A حتى E من أجل محاصيل وتواريخ جني مختلفة.

ويُري الجدول 7 المركبات الفينولية التي نتجت في بعض المعاصر باستعمال تحليل الكروماتوغرافيا السائلة العالية الأداء HPLC.

ويتضمن الجدول 8 بعض النتائج الخاصة بمركبات عضوية طيارة حُصل عليها أثناء مسلك LOX وحُدّدت بالطريقة HS-SPME-GC-MS.

الجدول 6: المحتوى الكيميائي لزيت زيتون استُخرج من دفعات عولجت في المعاصر A حتى E.

مركبات التوكوفيرول (مغ/كغ)	مركبات الفينول الكلية (مغ/كغ)	قرائن طيفية			عدد البيروكسيد (meq O ₂ / kg)	حموض دهنية حرة (% oleic acid)	تاريخ الاستخراج	المحصول	
		ΔK	K ₂₇₀	K ₂₃₂					
197	532	0.00	0.21	1.76	5.3	0.11	27/10/07	Frantoio/1	المعصرة A
274	506	0.00	0.18	1.79	3.6	0.18	03/11/07	Frantoio/1	المعصرة A
283	224	0.00	0.21	1.84	16.97	0.77	10/11/07	Frantoio/1	المعصرة A
124	468	0.00	0.15	1.64	7.8	0.22	17/11/07	Frantoio/1	المعصرة A
177	467	0.00	0.15	1.72	5.5	0.20	10/11/07	Frantoio/2	المعصرة A
138	405	0.00	0.17	1.66	7.1	0.17	17/11/07	Frantoio/1	المعصرة B
175	356	0.00	0.14	1.61	6.4	0.36	07/11/07	Frantoio/1	المعصرة C
224	407	0.00	0.14	1.91	8.1	0.24	29/10/07	Frantoio/1	المعصرة D
213	391	0.00	0.16	1.87	9.9	0.27	25/10/07	Frantoio/1	المعصرة D
187	316	0.00	0.15	1.73	17.1	0.39	06/11/07	Frantoio/1	المعصرة E
252	435	0.00	0.17	1.86	6.0	0.31	29/10/07	Pendolino/1	المعصرة C
242	471	0.00	0.18	1.86	5.6	0.24	29/10/07	Pendolino/2	المعصرة C
137	447	0.00	0.14	1.69	5.5	0.18	06/11/07	Pendolino/1	المعصرة B
266	381	0.00	0.17	1.91	7.7	0.18	24/10/07	Pendolino/1	المعصرة B
218	354	0.00	0.16	1.96	12.0	0.26	31/10/07	Pendolino/1	المعصرة E
198	413	0.00	0.16	1.66	6.4	0.37	06/11/07	Moraiolo/1	المعصرة G
201	290	0.00	0.14	1.83	17.1	0.28	02/11/07	Moraiolo/1	المعصرة C
160	182	0.00	0.16	1.79	12.5	0.83	14/11/07	Moraiolo/1	المعصرة D

188	484	0.00	0.18	1.90	7.8	0.35	05/11/07	L.corno/1	المعصرة C
218	436	0.00	0.16	1.75	6.0	0.20	03/11/07	Maurino/1	المعصرة A
150	117	0.00	0.14	1.70	11.5	0.78	14/11/07	Misto/1	المعصرة F
141	103	0.00	0.14	1.85	12.7	0.79	14/11/07	Misto/2	المعصرة F
219	333	0.00	0.13	1.68	10.3	0.50	20/11/07	Misto/1	المعصرة G

الجدول 7: مركبات فينول نتجت بتحليل الكروماتوغرافيا العالية الأداء HPLC.

E	D	C	B	A	A	A	A	A	المركبات الفينولية (mg/kg)
Frantoio	Frantoio	Frantoio	Frantoio	Frantoio	Frantoio	Frantoio	Frantoio	Frantoio	المحصول
06/11/07	29/10/07	07/11/07	17/11/07	10/11/07	17/11/07	10/11/07	03/11/07	27/10/07	
5.14	6.72	8.27	17.43	13.34	19.01	2.38	27.43	9.99	Oleuropein
18.23	24.58	26.78	29.06	26.90	34.05	13.09	25.95	23.17	Aldehydic form of Oleuropein aglycon
6.30	8.64	10.56	10.79	8.36	11.95	7.82	9.48	11.09	Aldehydic form of ligstroside aglycon
6.18	6.93	8.15	20.34	16.84	22.56	2.02	28.89	11.69	Dialdehydic form of Oleuropein aglycon
5.38	6.02	6.59	16.32	12.02	13.65	2.13	9.32	11.94	Dialdehydic form of ligstroside aglycon
15.60	22.33	28.04	31.69	26.52	38.71	9.32	25.31	22.78	Aldehydic form of Oleuropein aglycon oxidized
4.24	8.31	15.60	18.90	12.23	18.94	8.17	14.60	18.22	Aldehydic form of ligstroside aglycon oxidized
87.27	109.25	169.10	83.46	92.61	136.64	83.78	247.52	64.60	Decarbossimetil Oleuropein aglycone (di aldehydic)

6.98	5.33	13.93	10.49	8.90	13.80	4.38	13.75	10.36	Decarbossimetil Oleuropein aglycone (di aldehydic) oxidized
38.08	49.54	61.61	64.64	50.35	87.02	35.07	53.18	63.50	Dialdehydic form of decarbossimetil ligstroside aglycon
7.86	28.61	62.29	75.13	46.43	83.48	6.56	8.52	57.56	Pinoresinol+1-Acetoxyypinoresinol
232.48	315.97	469.90	430.03	352.77	536.89	206.82	511.08	349.41	Total phenol compound at 280nm
24.53	33.64	15.83	20.03	41.73	19.48	27.70	41.04	39.36	Aldehydic form of Oleuropein aglycon
7.08	11.25	7.27	5.53	7.94	4.83	7.04	8.27	10.92	Aldehydic form of ligstroside aglycon
13.42	20.32	2.73	5.34	27.60	8.92	13.06	17.96	20.15	Dialdehydic form of Oleuropein aglycon
10.56	14.86	3.32	4.76	6.81	4.21	12.02	15.77	8.78	Dialdehydic form of ligstroside aglycon
22.77	29.39	16.92	17.88	31.59	18.50	19.28	29.39	35.83	Aldehydic form of Oleuropein aglycon oxidized
10.32	14.09	9.06	6.14	11.27	6.31	12.26	11.12	19.84	Aldehydic form of ligstroside aglycon oxidized
90.47	229.77	65.24	72.77	200.41	117.80	63.38	62.30	283.69	Decarbossimetil Oleuropein aglycone (di aldehydic)
7.50	11.79	8.99	5.02	10.71	6.29	5.77	10.11	10.17	Decarbossimetil Oleuropein aglycone (di aldehydic) oxidized
43.86	95.13	24.12	35.38	41.94	35.56	32.62	47.37	75.85	Dialdehydic form of decarbossimetil ligstroside aglycon
6.51	13.15	6.23	5.64	5.26	4.75	8.14	6.57	8.49	Dialdehydic form of decarbossimetil ligstroside aglycon oxidized

1.19	2.57	1.83	1.24	1.88	1.26	0.82	0.99	1.93	Hydroxytyrosol
1.62	2.86	2.13	1.40	1.38	1.03	1.24	2.29	2.88	Tyrosol
34.57	29.36	21.72	8.47	28.33	11.72	12.28	58.86	24.27	Pinoresinol+1-Acetoxypinoresinol
315.03	562.77	214.25	215.06	477.41	270.11	259.58	354.35	606.95	Total phenol compound at 280nm

الجدول 8: بعض النتائج للمركبات العضوية المتطايرة الناتجة أثناء مسلك LOX والمحددة بواسطة طريقة مطياف الكتلة وكروماتوغرافيا الغاز والاستخلاص في الطور المكروي في الحيز العلوي الفارغ HS-SPME-GC-MS.

D 02/11/07	D 25/10/07	D 29/10/07	F 14/11/07	F 14/11/07	F 14/11/07	B 17/11/07	A 17/11/07	A 10/11/07	A 03/11/07	A 27/10/07	مركبات طيارة (مغ/كغ)
1.40	0.99	0.82	1.57	1.94	2.27	1.32	1.43	1.18	0.87	1.09	Hexanal
0.60	0.51	1.38	1.17	1.39	1.32	1.19	0.81	1.19	0.71	0.92	Hexyl alcohol
0.25	0.38	0.26	0.67	0.96	1.00	0.60	0.66	0.33	0.20	0.56	Hexyl acetate
2.25	1.88	2.46	3.41	4.29	4.60	3.11	2.89	2.71	1.78	2.57	Sum C6 by Ln
0.47	0.71	0.89	0.79	0.62	0.59	0.49	0.48	1.00	1.02	1.68	(Z)-3-Hexen-1-ol
7.77	8.18	7.77	6.75	7.78	7.47	8.55	8.97	9.56	9.53	10.12	(E)-2-Hexenal
1.14	0.80	1.52	2.09	2.03	2.03	1.18	0.82	2.23	1.02	0.68	(E)-2-Hexen-1-ol

0.38	0.82	0.55	0.56	0.76	0.81	0.47	0.53	0.63	1.13	0.96	(Z)-3-Hexenyl acetate
0.05	0.15	0.10	0.11	0.19	0.40	0.10	0.10	0.09	0.12	0.27	(E)-2-Hexenyl acetate
9.82	10.68	10.84	10.30	11.39	11.29	10.79	10.89	13.51	12.83	13.71	Sum C6 by LnA
1.01	1.03	0.72	0.77	0.83	1.03	1.02	1.29	1.21	0.87	0.76	Hexanal
1.39	0.58	0.56	0.40	0.48	0.56	0.76	0.76	0.64	0.76	0.46	Hexyl alcohol
0.20	0.29	0.15	0.15	0.12	0.13	0.29	0.24	0.59	0.39	0.50	Hexyl acetate
2.60	1.90	1.42	1.32	1.43	1.73	2.07	2.29	2.44	2.02	1.73	Sum C6 by Ln
0.80	1.01	0.67	1.05	1.00	1.03	0.88	1.01	0.63	1.09	0.49	(Z)-3-Hexen-1-ol
5.70	8.26	7.49	6.78	9.78	9.88	8.78	10.13	7.81	9.02	7.99	(E)-2-Hexenal
1.69	1.06	0.93	0.95	0.99	1.00	1.12	1.21	1.20	1.00	0.63	(E)-2-Hexen-1-ol
0.47	0.66	0.39	0.72	0.37	0.33	0.65	0.47	0.68	0.75	0.53	(Z)-3-Hexenyl acetate
0.08	0.06	0.03	0.04	0.07	0.04	0.14	0.07	0.12	0.10	0.18	(E)-2-Hexenyl acetate
8.74	11.06	9.51	9.55	12.21	12.28	11.58	12.89	10.44	11.95	9.83	Sum C6 by LnA

4.2 حملة تجارب عام 2008

هدفت الاختبارات التي أُجريت أثناء حملة عام 2008 إلى فهم تأثير مدة العجن في الجودة النهائية لزيت الزيتون المستخرج بغية التثبُّت من أداء البرمجيات المصممة (انظر المقطع 5). أُجريت في الحملة ثلاث عمليات استخراج للزيت من دفعات زيتون متماثلة، لكنْ بمدد عجن مختلفة. ويُري الجدول 9 نتائج التحليل الكيميائي لدفعات الزيتون الثلاث.

وجرى تحليل الزيت المستخرج أيضاً، وقد عُرِّفت الدفعات بتواريخ الاستخراج ومدد العجن. وتتضمن الجداول 10 و 11 و 12 و 13 نتائج التحليل الكيميائي للزيت المستخرج.

الجدول 9: تحليل كيميائي للزيتون.

التاريخ	نسبة الماء (غ كغ ⁻¹)	نسبة الزيت الكلية (غ كغ ⁻¹)	نسبة الفينول (مغ كغ ⁻¹)	نسبة السكر (غ كغ ⁻¹)
01/11/08	52.8	470.4	25340	52.5
15/11/08	50.3	385.5	23507	57.1
21/11/08	52.0	416.4	29462	73.6

الجدول 10: محتوى الزيت الكيميائي.

التاريخ	الدفعات	الحموض الدهنية الحرّة (% oleic acid)	عدد البيروكسيد (meq O ₂ / kg)	قراءن طيفية			مركبات التوكوفيرول (مغ/ كغ)	مركبات الفينول الكلية (مغ/ كغ)
				ΔK	K ₂₇₀	K ₂₃₂		
01-nov-08	Kneading duration 10 minutes 1°extraction.	0.18	4.0	1.69	0.13	0.00	397	213

209	479	-0.01	0.18	1.76	4.1	0.16	Kneading duration 27 minutes 1°extraction.	01-nov-08
191	513	0.00	0.18	1.70	4.2	0.17	Kneading duration 41 minutes 1°extraction.	01-nov-08
250	658	-0.01	0.19	1.76	3.2	0.18	Kneading duration 10 minutes 2°extraction.	01-nov-08
242	586	0.00	0.15	1.78	3.4	0.18	Kneading duration 30 minutes 2°extraction.	01-nov-08
211	536	0.00	0.15	1.80	3.9	0.17	Kneading duration 50 minutes 2°extraction.	01-nov-08
181	346	0.00	0.11	1.53	3.0	0.13	Kneading duration 10 minutes 1°extraction.	15-nov-08
194	412	0.00	0.12	1.41	3.7	0.13	Kneading duration 35 minutes 1°extraction.	15-nov-08
193	479	0.00	0.12	1.66	3.5	0.14	Kneading duration 60 minutes 1°extraction.	15-nov-08
184	465	0.00	0.12	1.65	5.9	0.14	Kneading duration 10 minutes 2°extraction.	15-nov-08
190	472	0.00	0.12	1.73	5.8	0.14	Kneading duration 35 minutes 2°extraction.	15-nov-08
184	500	0.00	0.12	1.68	5.9	0.14	Kneading duration 60 minutes 2°extraction.	15-nov-08

193	444	0.00	0.09	1.59	2.8	0.12	Kneading duration 10 minutes 1°extraction.	21-nov-08
202	464	0.00	0.12	1.63	3.3	0.13	Kneading duration 43 minutes 1°extraction.	21-nov-08
202	497	-0.01	0.12	1.64	3.2	0.13	Kneading duration 64 minutes 1°extraction.	21-nov-08

الجدول 11: مركبات الفينول الناتجة بتحليل الكروماتوغرافيا السائلة عالية الأداء HPLC (2008 / 11 / 1).

2008/11/01						
استخراج درجة 2			استخراج درجة 1			
مدة العجن 50 دقيقة	مدة العجن 30 دقيقة	مدة العجن 10 دقائق	مدة العجن 42 دقيقة	مدة العجن 27 دقيقة	مدة العجن 10 دقائق	
(مغ/كغ)	(مغ/كغ)	(مغ/كغ)	(مغ/كغ)	(مغ/كغ)	(مغ/كغ)	
19.08	19.84	21.23	18.85	16.23	12.90	Oleuropein
57.38	66.42	89.65	44.04	43.92	40.50	Aldehydic form of oleuropein aglycon
10.73	10.82	12.92	11.36	11.31	13.05	Aldehydic form of ligstroside aglycon
25.73	27.68	32.07	23.48	18.06	12.43	Dialdehydic form of Oleuropein aglycon
8.89	8.52	9.54	10.13	9.61	8.43	Dialdehydic form of ligstroside aglycon
50.81	53.75	61.29	44.89	39.96	41.70	Aldehydic form of Oleuropein aglycon oxidized
30.09	29.87	32.12	34.70	34.68	39.82	Aldehydic form of ligstroside aglycon oxidized

164.46	163.80	248.66	134.67	100.17	68.15	Decarbossimetil Oleuropein aglycone (di aldehydic)
35.70	39.69	48.54	30.17	28.05	19.55	Decarbossimetil Oleuropein aglycone (di aldehydic) oxidized
53.88	46.96	41.82	56.66	50.73	45.26	Dialdehydic form of decarbossimetil ligstroside aglycon
15.35	15.13	11.70	18.59	17.61	17.02	Dialdehydic form of decarbossimetil ligstroside aglycon oxidized
1.89	1.78	1.71	1.98	1.63	3.09	Hydroxytyrosol
2.71	2.36	1.60	3.42	2.85	3.18	Tyrosol
93.28	76.10	47.73	103.29	101.33	98.09	Pinoresinol+1- Acetoxypinoresinol
621.87	613.37	710.93	591.19	528.17	480.67	Total phenol compound at 280nm

الجدول 12: مركبات الفينول الناتجة بتحليل الكروماتوغرافيا السائلة عالية الأداء
(HPLC) (2008 /11 /15).

2008/11/15						
استخراج درجة 2			استخراج درجة 1			
مدة العجن 60 دقيقة	مدة العجن 35 دقيقة	مدة العجن 10 دقائق	مدة العجن 60 دقيقة	مدة العجن 35 دقيقة	مدة العجن 10 دقائق	
(مغ/كغ)	(مغ/كغ)	(مغ/كغ)	(مغ/كغ)	(مغ/كغ)	(مغ/كغ)	
18.53	13.47	18.69	19.63	14.35	10.10	Oleuropein

42.42	40.95	47.59	45.50	39.63	35.02	Aldehydic form of Oleuropein aglycon
7.30	8.10	9.16	9.64	10.45	9.61	Aldehydic form of ligstroside aglycon
14.00	20.26	14.62	13.80	10.75	6.24	Dialdehydic form of Oleuropein aglycon
6.29	6.29	6.21	6.64	5.32	4.37	Dialdehydic form of ligstroside aglycon
30.42	33.47	31.60	28.00	23.84	20.19	Aldehydic form of Oleuropein aglycon oxidized
21.08	24.11	23.23	24.86	26.30	24.78	Aldehydic form of ligstroside aglycon oxidized
163.07	128.90	108.09	112.57	69.68	32.51	Decarbossimetil Oleuropein aglycone (di aldehydic)
24.37	25.19	22.48	23.78	19.22	15.11	Decarbossimetil Oleuropein aglycone (di aldehydic) oxidized
50.36	42.22	41.97	37.98	32.60	27.29	Dialdehydic form of decarbossimetil ligstroside aglycon
12.59	12.88	10.42	12.24	11.01	11.49	Dialdehydic form of decarbossimetil ligstroside aglycon oxidized
1.46	1.28	1.23	0.99	0.76	0.84	Hydroxytyrosol
2.56	2.33	2.30	2.29	2.06	1.32	Tyrosol
81.12	84.95	82.80	82.36	81.28	79.63	Pinoresinol+1-Acetoxy-pinoresinol
512.05	479.64	454.66	458.37	385.09	315.04	Total phenol compound at 280nm

الجدول 13: بعض نتائج المركبات العضوية الطيارة الناتجة أثناء مسلك LOX.

2008/11/01						
استخراج درجة 2			استخراج درجة 1			
مدة العجن 50 دقيقة	مدة العجن 30 دقيقة	مدة العجن 10 دقائق	مدة العجن 41 دقيقة	مدة العجن 27 دقيقة	مدة العجن 10 دقائق	المركبات الطيارة (mg/kg)
0.59	0.41	0.30	0.92	0.96	1.07	Hexanal
0.61	0.52	0.39	1.38	1.68	3.32	Hexyl alcohol
0.50	0.45	0.36	0.46	0.47	0.50	Hexyl acetate
1.70	1.37	1.06	2.75	3.11	4.89	Sum C6 by Ln
1.17	1.29	1.40	0.74	0.80	1.05	(Z)-3-Hexen- 1-ol
9.09	7.41	4.09	9.98	9.70	9.80	(E)-2- Hexenal
0.63	0.48	0.32	1.65	2.01	3.64	(E)-2-Hexen- 1-ol
1.16	1.33	1.42	0.54	0.56	0.59	(Z)-3- Hexenyl acetate
0.36	0.35	0.32	0.35	0.37	0.39	(E)-2- Hexenyl acetate
12.41	10.86	7.54	13.27	13.44	15.46	Sum C6 by LnA

2008/11/15						
استخراج درجة 2			استخراج درجة 1			
مدة العجن 60 دقيقة	مدة العجن 35 دقيقة	مدة العجن 10 دقائق	مدة العجن 60 دقيقة	مدة العجن 35 دقيقة	مدة العجن 10 دقائق	Volatil compounds (mg/kg)
1.14	1.15	1.16	1.05	1.05	1.16	Hexanal
0.68	0.76	0.85	1.11	1.25	1.27	Hexyl alcohol
0.49	0.47	0.48	0.45	0.47	0.47	Hexyl acetate
2.31	2.38	2.49	2.62	2.77	2.90	Sum C6 by Ln
0.76	0.76	0.87	0.83	0.86	0.86	(Z)-3- Hexen-1-ol
10.17	10.27	10.83	10.02	10.42	10.51	(E)-2- Hexenal
1.07	1.14	1.40	2.00	2.12	1.98	(E)-2- Hexen-1-ol
0.65	0.63	0.64	0.60	0.63	0.61	(Z)-3- Hexenyl acetate
0.38	0.37	0.35	0.33	0.34	0.34	(E)-2- Hexenyl acetate
13.04	13.17	14.09	13.79	14.36	14.30	Sum C6 by LnA

5.2 صور الزيتون في طور الفرز

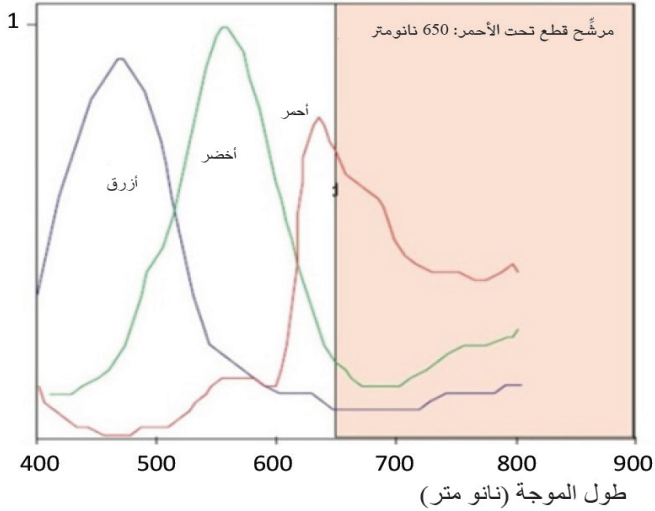
أحد الأغراض الرئيسية لهذا العمل هو تصميم برمجيات قائمة على الشبكات العصبونية الصناعية القادرة على القيام بتقدير لموسطات جودة زيت الزيتون، وعلى محاكاة عملية عصر الزيتون. وتحتاج هاتان المهمتان إلى مجموعة من البيانات والموسطات لمعالجتها. لذا يُعتبر الفحص البصري للمادة الخام (أي الزيتون) التي سوف تعالج نهجاً مناسباً للتحديد الآلي لمعايير جودة منتج معين. يُضاف إلى ذلك أن استعمال الطرائق القائمة على الرؤية الآلية يمكن من إجراء سلسلة من التحاليل ومن استخراج بعض الموسطات التي سوف تعالج لاحقاً بواسطة برمجيات المحاكاة. ووفقاً لما هو معروف على نطاق واسع، الموسطان المهان اللذان يؤثران في جودة المادة الخام هما مستوى نضج الزيتون وسلامته. وقد ثبت في المرجعين [28 و 29] أن هذين الموسطين يؤثران في جودة الزيتون على نحو مستقل عن العملية المتبعة لاستخراج الزيت. فإذا كان الزيتون شديد النضج مثلاً، نزعت قيمة البيروكسيد ومستوى الحموضة إلى الزيادة، والعكس صحيح. ويحصل نفس الشيء إذا كان الزيتون فاسداً. وهذان الموسطان هاما جداً أيضاً لأن المعصرة تعمل ضمن ظروف متحكّم فيها بصرامة. لذا فإن جودة الزيتون تؤثر كثيراً في جودة الزيت المستخرج. ويمكن النص على أن تأثير هذين الموسطين في جودة الزيت يقع في المجال 40%-50% وسطياً، ولذا لا يمكن إهمالهما. بكلمات أخرى، من أجل (1) تصميم برمجيات لتقدير ومحاكاة لتقييم جودة الزيت، و(2) التحكم في نضج الزيتون وسلامته، يجب تطوير منظومة رؤية قائمة على المعرفة والخبرة. لقد اقترح عدد من الطرائق لتحديد درجة نضج الزيتون. واقترح مجلس زيت الزيتون الدولي تقنية بسيطة تقوم على تقييم لون قشرة 100 ثمرة زيتون تُسحب عشوائياً من كيلو غرام واحد من دفعة العينة [30]. تُسمى مرحلة النضج الأولى بـ «المرحلة الخضراء»، وهي مرحلة الثمار البالغة الخضراء التي تكون قد وصلت إلى حجمها النهائي. بعد هذه المرحلة، تحل الأنثوسيانينات (Anthocyanines) محل الصبغة اليخضورية (الكلوروفيلية) في قشرة الزيتون تدريجياً في أثناء نضج الزيتون. وتسمح هذه العملية الكيميائية بإمكان تحديد «مرحلة منقطة» و«مرحلة أرجوانية» و«مرحلة سوداء»، تبعاً للون قشرة الثمرة [31]. وقد أُجري استقصاء تجريبي على زيت بكر من زيتون أخضر، وزيتون أسود جزئياً، وزيتون أسود كلياً من أجل تقييم الاختلافات في الخواص الذوقية للزيت، وفي عمره التخزيني. وإجمالاً، تزداد المركبات الفينولية البسيطة في الزيت كلما كان الزيتون أقرب إلى

السواد، في حين أن مركبات الفينول القابلة للانحلال في الماء تقل. وفي كلا المحصولين، كانت الفينولات الكلية ومدد التحريض (Induction Times) أعلى على نحو ملحوظ في الزيوت المستخرجة من الزيتون الأخضر من تلك المستخرجة من زيتون أسود كلياً [32].

لقد جرى تطوير أداة لتقدير مستوى نضج الزيتون ودرجة سلامته. وهي تقوم على منظومة رؤية آلية تتألف من عتاديات وخوارزميات لمعالجة الصورة. ويتألف تصميم تلك الأداة من المهام الآتية:

- 1- تحديد بنيان منظومة الرؤية الآلية.
- 2- تقدير نضج الزيتون بواسطة خوارزميات معالجة الصورة (انظر المقطع 4).
- 3- تقدير درجة سلامة للزيتون بواسطة خوارزميات معالجة الصورة (انظر المقطع 4).

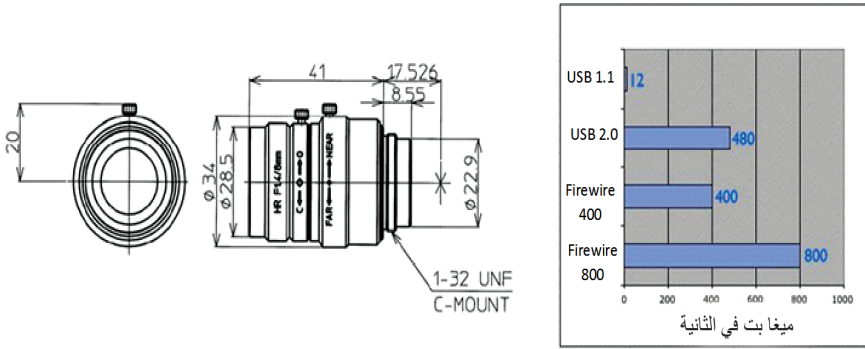
وفي هذا المقطع، يجري تحديد بنيان منظومة الرؤية الآلية مع تقديم بعض الأمثلة للصور الملتقطة. وفي المقطع 4، ثمة وصف دقيق للمهمتين 2 و3، أي لتقدير نضج الزيتون ودرجة سلامته.



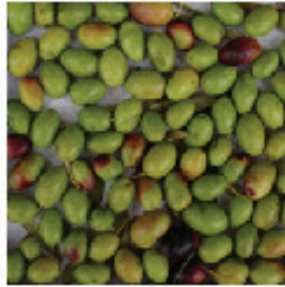
الشكل 5: الاستجابة الطيفية للكاميرا uEye UI-1480 ذات الميز QSXGA.

تتألف منظومة الرؤية الآلية من منظومة تحصيل صور، ومُضيء مناسب، وسلسلة من الوصلات تربط المنظومة مع حاسوب شخصي. وفي العمل الحالي،

تتألف منظومة التحصيل من كاميرا عالية الميز طراز uEye UI-1480 تعمل وفق المقيس QSXGA (1920×2560 بكسل²)، مع مجس سيموس (Cmos) قطره يساوي نصف إنش، وتعمل بمعدل أطر يساوي 60 إطاراً في الثانية. وتثبت الكاميرا بجساسة على حامل مثبت على آلة إزالة أوراق الزيتون وغسيله. وتصف الكاميرا باستجابة طيفية في كل من مجال الضوء المرئي (قنوات RGB الفيديوية) والأشعة تحت الأحمر وفق الميّن في الشكل 5. ومن أجل إلغاء الاستجابة في المجال تحت الأحمر، زوّدت الكاميرا بمرشح تمرير تردد منخفض حتى الأشعة تحت الحمراء عند طول الموجة 650 نانو متر.



الشكل 6: بصريات ومعدل نقل البيانات لمعظم بروتوكولات الاتصالات الشائعة.

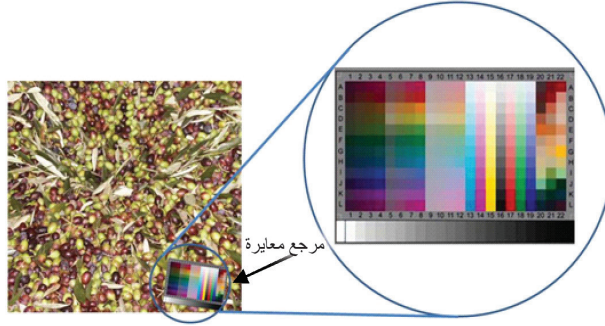


الشكل 7: مثال لالتقاط صورة لدفعة من الزيتون باستعمال الكاميرا uEye .

والكاميرا مزوّدة ببصريات من طراز Tuss Vision LV0814 ذات بعد محراقي يساوي 8 ميليمتر، وفتحة بين 1 و 1.4 ميليمتر، وفتحة زاوية تساوي 56.5 درجة أفقياً و 43.9 درجة شاقولياً (انظر الشكل 6). وتوصل الكاميرا بالحاسوب بواسطة

وصلات USB 2.0، وبذلك تضمن معدل نقل يساوي 480 ميغا بايت في الثانية. وهذا معدل نقل كافٍ لقنوات الألوان الفيديوية الثلاثة بمعدل 6 أطر في الثانية بميز كامل. ويُري الشكل 7 مثلاً لصورة لدفعة من الزيتون التُقّطت بواسطة الكاميرا uEye.

ووفقاً لما هو معروف على نطاق واسع في المنشورات العلمية (ولما سوف نراه لاحقاً)، يعتمد نضج الزيتون على لونه. لذا يجب استعمال منظومة إضاءة ملائمة من أجل تحقيق التحليل اللوني لكل دفعة زيتون سوف تُعصر بالمعصرة. إلا أن استعمال منظومة إضاءة اعتباطية لتحقيق إضاءة مضبوطة غير ممكن في هذا العمل، لأن الكاميرا مثبتة على آلة الغسيل. فمنظومة الرؤية الآلية المصمّمة هنا يجب أن تعمل في حالات إضاءة مختلفة تبعاً للظروف البيئية، ويجب على التحليل اللوني أن يأخذ تلك المشكلة في الحسبان. لكن في جميع الأحوال، أُضيف منبع ضوئي آخر يتألف من مصباح تنغستين وهالوجين بدرجة حرارة تساوي 3623 كلفن إلى منظومة الرؤية الآلية من أجل إضاءة المشهد في حالة نقصان أو غياب ضوء الشمس.



الشكل 8: مثال لالتقاط صورة لدفعة من الزيتون باستعمال الكاميرا uEye، وبوجود مرجع المعايرة.

لتلك الأسباب يجب استعمال مرجع معايرة الماسح (يُستعمل لمعايرة جميع المواسح المسطّحة والكاميرات الرقمية) ومن ثمّ الأخذ في الحسبان لأيّ تغيير في ظروف الإضاءة. ومن أجل كل إطار، على الكاميرا أن تلتقط صورة لدفعة الزيتون في آلة الغسيل، ومعها مرجع المعايرة (مرجع معايرة IT8)، وفق المبيّن في الشكل 8.

ووفقاً لما هو معروف، يتألف مرجع المعايرة IT8 من قطعة مطبوعة عليها شرائط

ذات تدرُّج رمادي، وأخرى ملوَّنة. وكل قيمة على شرائط التدرُّج الرمادي والشرائط الملونة توافق قيمة في سلم الألوان الفيديوية RGB أو المخبرية. وباستعمال هذه القيم، من الممكن تحديد عامل تصحيح مناسب لكل صورة ملتقطة وفق الخطوات الآتية:

1. تُلتقط صورة الزيتون بوجود مرجع المعايرة ضمنه (يُرى الشكل 7 صورة زيتون من الصنف Frantoio التُّقطت في شهر تشرين الثاني/ نوفمبر عام 2007).

2. يُزال مرجع المعايرة من المشهد.

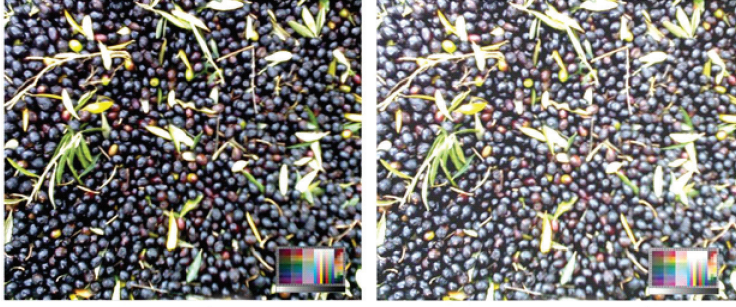
3. تُحسب قيم الأحمر والأخضر والأزرق (RGB) لأعمدة المرجع 17 و18 و19 التي تمثِّل القيم القياسية لتلك الألوان (بخطوات مختلفة من السطوع) وتُقارَن مع بيانات الألوان الثلاثة المخزونة من قبل مصنعِّ مرجع المعايرة. وتنتج عن المقارنة ثلاث قيم فرق لكل منطقة ملونة، ΔR و ΔG و ΔB ، بين القيم المحسوبة والقيم المخزونة لقنوات الألوان الثلاث.

4. تُحسب قيم السطوع L لكل منطقة رمادية وتُقارَن بيانات السطوع المخزونة من قبل مصنعِّ مرجع المعايرة. وتُمكن المقارنة من تقدير قيمة ΔL لكل منطقة رمادية التدرُّج بين القيمة المحسوبة والقيمة المخزونة.

5. وتُستعمل الفروق ΔR و ΔG و ΔB و ΔL ، لكل صورة على حدة، لحساب عامل معايرة الألوان.

بهذه الطريقة، تُحدَّد بيانات الألوان القياسية لكل صورة [33]. لتكن I مصفوفة صورة ملونة $(2560 \times 1920 \times 3)$ بكسل³ لدفعة زيتون معينة، و J مصفوفة مشابهة، لكن في ظروف إضاءة مختلفة (على سبيل المثال، صورة I ملتقطة عندما يكون مصباح التنغستين والهالوجين مطفاً، وصورة J ملتقطة والمصباح مضيء).

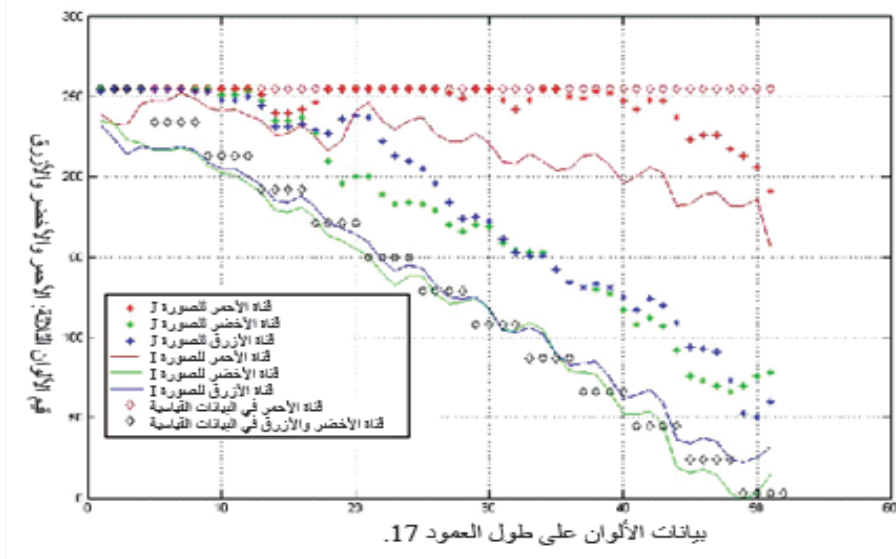
تختلف الألوان بين الصورتين على نحو متناسق من حيث قيم الألوان الثلاثة: الأحمر R ، والأخضر G ، والأزرق B (الشكل 9). ومن الواضح أن صورة مرجع المعايرة تُلتقط أيضاً في ظروف الإضاءة المختلفة نفسها في الحالتين. لذا، وفي ما يخص العمود 17 من مرجع المعايرة، من الممكن حساب قيم الألوان الثلاثة. يُرى الشكل 10 القيم الوسطى للألوان الثلاثة المحسوبة للعمودين 17 من الصورتين I و J مقارنة بقيم بيانات الألوان القياسية. ثم تُحسب فروق الألوان ΔR و ΔG و ΔB و ΔL الموجودة بين قيم المصفوفتين I و J من ناحية، وبين بيانات الألوان القياسية لكل منطقة ملوَّنة مختلفة، من الناحية الأخرى.



الصورة I

الصورة J

الشكل 9: صورتان لنفس دفعة الزيتون التُّقطتا في ظروف إضاءة مختلفة.



الشكل 10: مقارنة قيم ألوان الصورتين I و J ببيانات الألوان القياسية على طول العمود 17.

على سبيل المثال، قيم الألوان الثلاثة في «الموقع» 30 هي:

الصورة I:

$$\begin{cases} R = 255 \\ G = 178 \\ B = 178 \end{cases}$$

الصورة J:

$$\begin{cases} R = 221 \\ G = 118 \\ B = 118 \end{cases}$$

قيم الألوان القياسية:

$$\begin{cases} R = 255 \\ G = 108 \\ B = 108 \end{cases}$$

ومن ثمَّ تكون قيم الفروق ΔR و ΔG و ΔB و ΔL للصورتين:

$$\begin{cases} \Delta R = 0 \\ \Delta G = 70 \\ \Delta B = 70 \end{cases}$$

للصورة I:

$$\begin{cases} \Delta R = 0 \\ \Delta G = 10 \\ \Delta B = 10 \end{cases}$$

للصورة J:

ويمكن استعمال هذه القيم لإجراء تصحيح لألوان الصورتين. وكي يكون تصحيح الصورتين موثقاً، يجب تطبيق كامل بيانات الألوان القياسية عليها. ويمكن فعل ذلك بواسطة برمجيات متوافرة تجارياً.

وتستطيع منظومة الرؤية الآلية، في أثناء نزع ورق الزيتون وغسله، التقاط صور بمعدل 6 أطر في الثانية بميز عالٍ. وفي ما يخص هذا العمل، يكفي تحصيل صور للمشاهد شبه ثابتة، أي بمعدل إطار كل 5 ثوان. وتُحصّل الصور بصيغة RGB.

والمهمة الأخرى للعمل الحالي هي تحديد درجة سلامة كل دفعة من الزيتون. وتعتمد درجة السلامة هذه على عوامل أخرى منها، على سبيل المثال، وجود ذبابة الزيتون التي تكون غير مرئية من دون فتح ثمرة الزيتون فعلاً. إلا أنه يمكن تشخيص هذا العامل من خلال وجود الرضوض والعيوب السطحية على الثمرة، أو الشيوخوخة المبكرة البادية عليها. يُعدُّ كشف هذه الأنواع من العيوب في الصورة الملتقطة في الزمن الحقيقي في أثناء غسل الزيتون مهمة صعبة ومستنزفة للوقت. لذا تُنتقى مجموعة ثمار من دفعة الزيتون وتوضع في غربال بعده يساويان 20 سم × 20 سم لمعالجتها. يُري الشكل 11 كمية منتقاة من الزيتون (من الدفعة 060042) موضوعة في الغربال. هنا يجب ألا تترابك الثمار بعضاً فوق بعض بغية جعل احتمال عدم كشف العيوب أصغرياً.

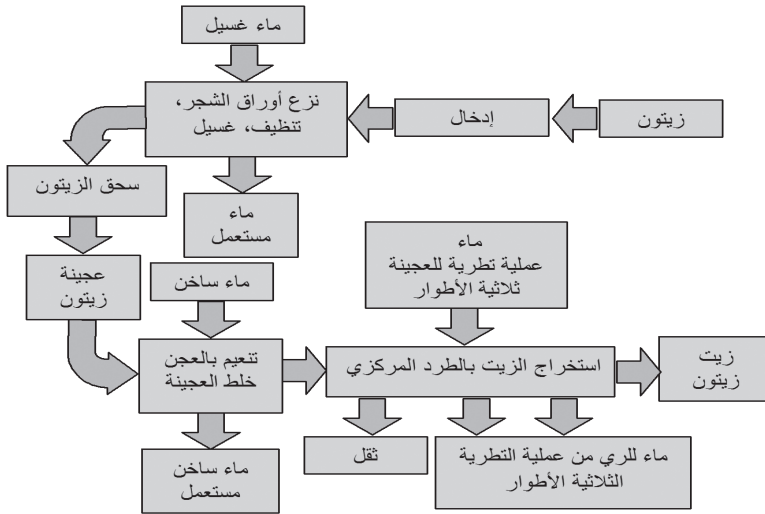


الشكل 11: دفعة منتقاة من الزيتون (الدفعة 060042) موضوعة على غربال مقاسه يساوي 20 سم × 20 سم.

ووفقاً لما ذُكر آنفاً، تصلح الطريقة المذكورة لالتقاط صور للزيتون من أجل كشف درجة نضجه وسلامته قبل عملية استخراج الزيت. وفي ما يلي سوف نقدّم وصفاً لمعصرة الزيتون، يليه وصف لخوارزميات قائمة على معالجة الصورة صمّمها المؤلفون بغية تقدير درجة النضج الزيتون.

3- وصف معصرة زيتون مبتكرة

ما زال إنتاج زيت الزيتون اليوم قائماً على الفكرة القديمة المنطوية على سحق الزيتون وفصل الزيت عن مركبات عجينة الزيتون الأخرى اعتماداً على خصائصها الفيزيائية المختلفة. ويُرى الشكل 12 أطوار معالجة الزيتون. ومن أجل إجراء مراقبة كاملة لخط إنتاج زيت الزيتون، أُجري عدد من الاختبارات التجريبية لجمع بيانات من معصرة زيتون واحدة معينة. وقد مكّن ذلك من تقليص تنوع موسطات العملية، وكان مفيداً في نمذجة عملية الاستخراج. ونظراً إلى أن هدف هذا العمل كان زيادة جودة المنتج المحلي، جرى تحديد معصرة للحملة التجريبية في توسكانا تمتلكها مزرعة توربيانكا (Torre Bianca) الموجودة بالقرب من فلورنسا بإيطاليا.



الشكل 12: عملية استخراج زيت الزيتون ميكانيكياً بالطرد المركزي.

1.3 بنية المعصرة

تعتمد المعصرة المنتقاة (الشكل 13) على منظومة استخراج ميكانيكية بالطرد المركزي منفذة على شكل مصفٍّ من طورين، ويحصل فصل الزيت نتيجة لتكوّن طبقات

بفعل الطرد المركزي تبعاً للكثافات المختلفة للمكوّنات السائلة والصلبة في عجينة الزيتون المسحوق. وهذه التكنولوجيا مستعملة في جميع المعاصر الموجودة في توسكانا تقريباً، ولذا فإن المعصرة المنتقاة تُعدُّ ممثلة لكثير من المعاصر الصغيرة والمتوسطة الحجم المنتشرة في تلك المنطقة.



الشكل 13: معصرة زيتون اختبارية.

يتكوّن خط الإنتاج المبيّن في الشكل 13 من:

- وحدة نزع ورق الزيتون المجني والمورّد إلى المعصرة، وتنظيف الزيتون وغسله، وذلك وفقاً لإجراءات الإنتاج.
 - سحق الزيتون بغية الحصول على عجينة زيتون متجانسة.
 - دك العجينة للمساعدة على تجميع قطرات الزيت الصغيرة معاً.
 - استخراج الزيت بواسطة مصفّي طرد مركزي ثنائي الأطوار.
- ويتضمّن الجدول 14 استطاعات مكوّنات المعصرة الكهربائية.

وقد زُوّدت المعصرة أيضاً بأدوات مبتكرة للمراقبة في الزمن الحقيقي، وذلك برمجة قيم أمثلية لموسطات العملية لزيادة جودة المنتج النهائي. ويقوم التحكم في العملية على التنظيم بالتغذية الارتجاعية للموسطات الفعالة للحفاظ على قيم ثابتة

لدرجة الحرارة والضغط في العجانة. يُضاف إلى ذلك أنه جرى تثبيت مجسّات حرارة (طراز PT100) على مخرج الساحق ومخرج الزيت من المصفيّ.

الجدول 14: وصف المعصرة (الاستطاعات الكهربائية المكوّنات).

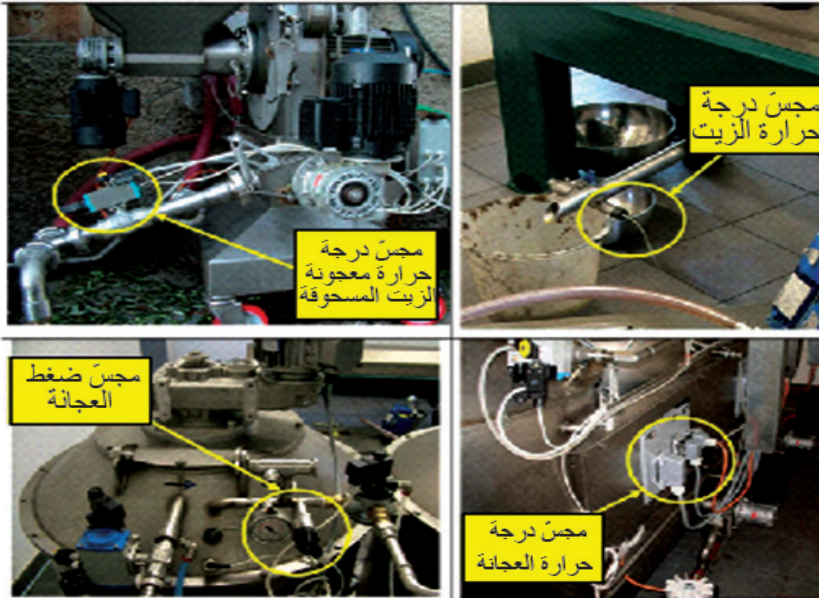
آلة نزع ورق الشجر وتنظيف الزيتون وغسيله	العدد	كيلو واط
محرك قادوس الناقل اللولبي للزيتون	1	0.37
محرك مروحة نزع الورق	1	0.85-0.75
محرك مضخة ماء الغسيل	1	0.55
مجموع استطاعة نزع الورق والتنظيف والغسيل		1.77
الساحق	العدد	كيلو واط
محرك الناقل الحلزوني لتغذية الساحق بالزيتون	1	0.37
محرك قادوس الناقل الحلزوني	1	0.37
محرك الساحق	1	5.5
محرك القاشط الشبكي في الساحق	1	0.37
محرك مضخة نقل الزيتون المسحوق إلى العجانة	1	0.75
مجموع استطاعة الساحق		7.36
العجانة	العدد	كيلو واط
محرك مضخة غسيل العجانة	1	0.55
محرك محور العجانة	3	1.1
محرك مضخة نقل العينة إلى المصفيّ	3	0.37
مجموع استطاعة العجانة		4.96
مُستخرج الزيت	العدد	كيلو واط
محرك المصفيّ	1	5.00
محرك مضخة تفريغ التفل	1	0.75
مجموع استطاعة المستخرج		5.75
مجموع استطاعة المعصرة الكلية		19.84

تُعدّ معصرة مزرعة توربيانكا نموذجاً للمعاصر ذات الاستخراج الثنائي الطور.

هذا يعني أنه عند نهاية خط الإنتاج، ثمّة منتج نهائيان فقط، هما زيت الزيتون ومرتسب صلب مبلول. وقد جرى إعداد المعصرة بحيث تقلص عمليات الأكسدة التي تحصل في عجينة الزيتون الموجودة في آلة العجن، والحفاظ على الجودة العالية لزيت الزيتون الناتج، وفي نفس الوقت، تمكين مشغل المعصرة من مراقبة جميع مستويات العملية (جودة الزيتون، وتدفق الكتلة عبر خط الإنتاج، ومدد العمل ودرجات الحرارة... إلخ) في الزمن الحقيقي بواسطة أدوات تحكم ملائمة تقوم على المجسات.

ومن أجل استمثال عملية الإنتاج، تتألف المعصرة من مكونات مختلفة من مصنعين مختلفين. وفي ما يلي مواصفاتها الإبداعية التقنية الرئيسية:

- منظومة قرص سحق عالية السرعة قادرة على تكوين عجينة زيتون متجانسة ضمن حيز صغير من مقاسات الفتات الصلب.
- آلات عجن عمودية ذات مفعول أكسدة منخفض لعجينة الزيتون، وقابلة للاستعمال في كل من حالتي الضغط المعياري والضغط المنخفض.
- مضخة دوّارة تُستعمل لتحقيق انسياب ثابت لعجينة الزيتون، إضافة إلى تسريع عمل خط الإنتاج وزيادة وثوقيته.



الشكل 14: مجسات التجهيزات.

وقد أُجري مزيد من الاختبارات في معاصر زيتون أخرى باستعمال مصفّيات « ثلاثية الأطوار» لأن البرمجيات المنفّذة يجب أن تكون موجهة إلى نمذجة العملية عموماً، لا لنمذجة مصفّ أو خط إنتاج معين.

2.3 إجراءات تشغيل المعصرة

جني الزيتون وفرزه

يصل الزيتون بعد القطف إلى المعصرة معبأً في صناديق زنة الواحد منها 20 كيلو غرام، ثم يُخلط في صوامع تتسع الواحدة منها لـ 300 كيلو غرام في غضون 24 ساعة من الجني، وذلك من أجل التزام إجراءات إنتاج زيت الزيتون (الشكل 15). وبواسطة التحليل المقدّم في المقطع 2 سابقاً، يعرف مشغّل المعصرة المقدار الدقيق من المركّبات الفينولية والزيت والسكر المحتواة في الزيتون الذي سوف يُعصر.



الشكل 15: جمع الزيتون وفرزه.



الشكل 16: آلة نزع ورق الشجر وتنظيف الزيتون وغسله.



الشكل 17: تفاصيل الساحق.

نزع ورق شجر الزيتون، وتنظيف الزيتون وغسله

تُفرَّغ صوامع الزيتون في قادوس ذي ناقل لولبي يُغذي حيزَ مروحة نزع الورق، ثم يُرسل الزيتون إلى الساحق بواسطة ناقل لولبي حيث يُغسل بماء يحقن أثناء النقل (الشكل 16). ووفقاً لما هو مذكور في المقطع 4، توضع منظومة رؤية آلية أعلى آلة الغسيل بغية كشف بعض خواص الزيتون الذي سوف يُعصر.

السحق

يتألف الساحق (الشكل 17) من محور دوّار ذي قرص من الفولاذ المقسى، وهو موضوع ضمن شبكة يُنظفها قاشط يدور بواسطة محرّك الساحق، والغرض منه هو درء اختناق الآلة وتوقفها.

والساحق مزوّد بمحرك استطاعته 5.5 كيلو واط يمكن من تحقيق دوران عالي السرعة في حيز من 1500 حتى 3000 دورة في الدقيقة، وهذه السرعة تحدّد المقدرة التشغيلية للمعصرة بين 0.5 و 2.5 طن في الساعة. ويُفتت الساحق الزيتون تفتيتاً متجانساً ضمن حيز مقاسات للفتات بين 2 و 3 ميليمتر.

العجن

تُنقل العجينة المسحوقة إلى العجانة بواسطة مضخة دوّارة. وتتألف العجانة من قدر أسطواني عمودي مصنوع من الفولاذ غير القابل للصدأ، ويحصل فيه دعك عجينة الزيتون ببطء من أجل زيادة درجة التحام قطرات الزيت المتفرقة. ويستغرق هذا الطور من 30 حتى 90 دقيقة، وذلك تبعاً لدرجة نضج الزيتون ودرجة سلامته. ويعالج في العجانة الواحدة صندوق من الزيتون (300 كيلو غرام). ويجري ضبط

درجة حرارة العجينة بواسطة منظومة ماء ساخن جارٍ، وتُراقب بواسطة مجسّات حرارة طراز PT100، يتم التحكم بها عند بعد من قبل مشغّل المعصرة بحيث تبقى ضمن حيز من 25 حتى 30 درجة مئوية. وقد استعملت في هذه المعصرة منظومة جديدة للتحكم في مستوى أكسدة العجينة، وذلك بخفض الضغط الجوي، ومن ثمّ كمية الأكسجين، ضمن العجانة إلى 200 ملي بار.



الشكل 18: تفاصيل المحور الدوّار في العجانة.

استخراج الزيت بالطرد المركزي

تُنقل العجينة بعد دكها بواسطة مضخة دوّارة إلى مصفّ ذي طورين يعمل بالطرد المركزي. وفي المصفّي، يُفصل التفل المبلول عن الزيت اعتماداً على الفرق بين كثافتي مكوّنَي العجينة. ويتألّف المصفّي من قِدْر أسطواني أفقي دوّار مع ناقل حلزوني يدور بسرعة تختلف قليلاً عن سرعة القِدْر. ويُستخلص الزيت بالقرب من محور المصفّي، وتُراقب درجة حرارته وهو خارج منه.

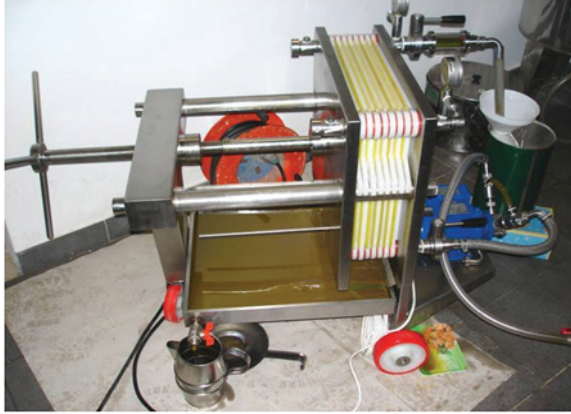
الترشيح

يُرسل زيت الزيتون المستخرَج، الموجود في مصفّي الطرد المركزي، بواسطة مضخة استطاعتها 0.75 كيلو واط إلى صناديق حديدية، حيث يُصفّى بواسطة

مرشحات من الكرتون (الشكل 19). ويحتجز المرشح المعلقات وآثار الماء المتبقية في الزيت المستخرج.

التعبئة

بعد عملية الترشيح، يُعبأ الزيت في عبوات، سعة الواحدة منها 50 ليترًا، وهي محكمة السد بغية منع تماس الزيت مع الهواء.



الشكل 19: عملية الترشيح.

4- خوارزميات معالجة الصورة لتحليل حالة الزيتون

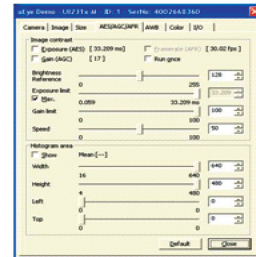
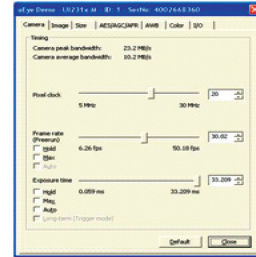
وفقاً لما ذكر في المقطع 2، أحد الأغراض الرئيسية للعمل الحالي هو إجراء تحكّم بصري للمادة الخام التي سوف تُعالج، وهو إجراء مباشر لتحديد جودة الزيتون آلياً. ويتحقّق ذلك بطرائق تقوم على الرؤية الآلية وتمكّن من إجراء سلسلة من التحاليل واستخلاص بعض المتوسطات لمعالجتها لاحقاً بواسطة برمجيات المحاكاة. وعلى وجه الخصوص، تمكّن الخوارزميات المصممة من تقدير درجة نضج الزيتون ودرجة سلامته. ويتحقّق هذا الغرض من خلال مهمتين:

- 1- تقدير درجة نضج الزيتون باستعمال خوارزميات معالجة الصورة.
 - 2- تقدير درجة سلامة الزيتون باستعمال خوارزميات معالجة الصورة.
- ويُري الشكل 20 توضع منظومة الرؤية الآلية المذكورة في المقطع 2. لاحظ أن الكاميرا مثبتة أعلى مزيل أوراق شجر الزيتون. تُرسل صور الزيتون إلى حاسوب بواسطة كبل USB 2.0، ويُستعمل سواق من

النوع ActiveX لبرمجة موسطات الكاميرا. وهذا السوّاق متضمّن في واجهة المستعمل البيانية الموجودة في ماتلاب (Matlab®) والمبيّنة في الشكل 21. ويمكن السوّاق ActiveX برمجة سلسلة موسطات مثل وتيرة الأطر، وسرعة مغلاق الكاميرا [فترة التعرض للكاميرا]، وريح القناة الرئيسية وأرباح قنوات الألوان الأحمر والأخضر والأزرق، وتردد ساعة البكسلات... إلخ (انظر الشكل 21).



الشكل 20: موقع الكاميرا طراز uEye.



الشكل 21: واجهة المستعمل البيانية لماتلاب الخاص بالكاميرا uEye.

1.4 تقدير درجة نضج الزيتون باستعمال خوارزميات معالجة الصورة

بعد التقاطها وإرسالها إلى الحاسوب، تُعالج الصور لاستخلاص سلسلة من المتوسطات المرتبطة بدرجة نضج الزيتون. والغرض الرئيسي من خوارزمية معالجة الصورة، التي طُوِّرت بغية تحديد بعض المتوسطات ذات العلاقة بدرجة النضج، هو إجراء تجزئة الألوان لكل صورة من أجل فصل الزيتون الأخضر والزيتون الأرجواني المسودّ والزيتون البني في الصورة بعضها عن بعض. لذا تقوم الخوارزمية المصمّمة بتجزئة الصورة الملونة على شكل مجموعات ذات قيم سطوع وألوان La^*b^* مختلفة. بكلمات أخرى، تُجزأ الصورة الملتقطة على شكل صور جزئية منفصلة تبعاً لألوانها. إن تجزئة الصورة على شكل مجموعات يمكن من تحديد عدد ثمار الزيتون الخضراء في الصورة، وعدد تلك ذات اللون الأرجواني المسودّ، وذات اللون البني. ويمكن تحقيق التجزئة اللونية للصورة بواسطة التجميع على أساس المتوسطات K اعتماداً على تصنيف La^*b^* لصورة الزيتون الملتقطة. ووفقاً لما هو معروف [34]، يُشتقّ فضاء الألوان La^*b^* من قيم محرّض الألوان الثلاثي (Tristimulus Values) القياسية المحدّدة من قبل اللجنة الدولية للإضاءة والألوان (International Commission on Illumination) (CIE). يتكوّن الفضاء La^*b^* من مركّب سطوع L ، ومركّب لوني a^* يشير إلى موقع اللون على محور اللونين الأحمر - أخضر، ومركّب لوني b^* يشير إلى موقع اللون على محور اللونين الأزرق - أصفر. وتبعاً لذلك جرى تطوير خوارزمية تقوم بالتجزئة القائمة على الألوان باستعمال فضاء الألوان La^*b^* [35] من أجل تحديد المنطقة الكلية التي توجد فيها ثمار الزيتون الخضراء، وتلك التي توجد فيها الثمار الأرجوانية المائلة إلى السواد. وتتألف الخوارزمية المصمّمة من الخطوات الآتية:

- a. تحويل ألوان الصورة من فضاء RGB إلى فضاء La^*b^* .
- b. تجزئة الصورة La^*b^* على أساس المتوسطات K .
- c. كشف المنطقة التي توجد فيها أشياء مختلفة الألوان.
- d. محاكاة النتائج وتحديد موطن النضج.

1.1.4 تحويل ألوان الصورة من الفضاء RGB إلى الفضاء La^*b^* .

الخطوة الأولى في تحديد بعض المتوسطات المرتبطة بدرجة نضج الزيتون هي إجراء تحويل من فضاء الألوان RGB إلى الفضاء La^*b^* . ووفقاً لما هو معروف في المنشورات العلمية، وباستعمال المعادلة الشهيرة 3، من الممكن تحويل جميع البكسلات في صورة الـ RGB إلى قيم محرّض الألوان الثلاثي وفقاً للمقياس D_{65} :

$$[X, Y, Z] = [R, G, B] \cdot M_{D_{65}} \quad (3)$$

حيث تعطى المصفوفة $M_{D_{65}}$ (ذات البعدين 3×3) بالمعادلة الآتية التي تُحسب بطريقة فون كريس (Von Kries) [5]:

$$M_{D_{65}} = \begin{bmatrix} 0.5767 & 0.297361 & 0.0270328 \\ 0.1855556 & 0.627355 & 0.00706879 \\ 0.188212 & 0.0752847 & 0.991248 \end{bmatrix} \quad (4)$$

تُمكن معرفة قيم XYZ من تحويل اللون في فضاء نموذج الألوان CIE LAB، وذلك باستعمال علاقات التحويل من XYZ إلى CIELAB [6]. لتكن X_n و Y_n و Z_n قيم محرّض الألوان الثلاثي للأبيض المرجعي، فيمكن حساب قيم L و a^* و b^* بالعلاقات الآتية:

$$\begin{cases} L = 116f_y - 16 \\ a^* = 500(f_x - f_y) \\ b^* = 200(f_y - f_z) \end{cases} \quad (5)$$

حيث:

$$\begin{cases} f_x = \sqrt[3]{x_r} & \text{if } x_r > \varepsilon \\ f_x = \frac{kx_r+16}{116} & \text{if } x_r \leq \varepsilon \\ f_y = \sqrt[3]{y_r} & \text{if } y_r > \varepsilon \\ f_y = \frac{ky_r+16}{116} & \text{if } y_r \leq \varepsilon \\ f_z = \sqrt[3]{z_r} & \text{if } z_r > \varepsilon \\ f_z = \frac{kz_r+16}{116} & \text{if } z_r \leq \varepsilon \end{cases} \quad (6)$$

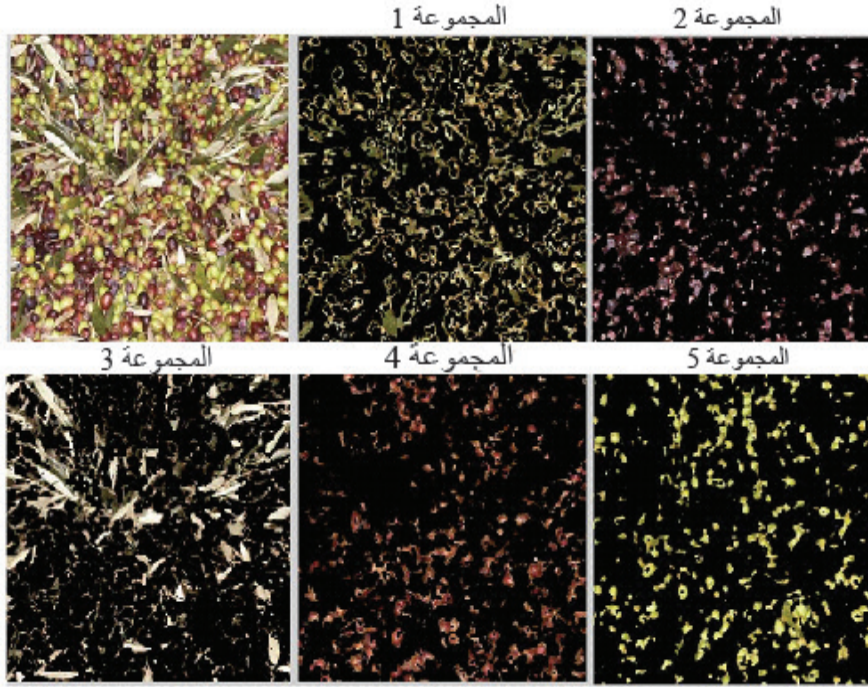
وحيث (قيم مقياس CIE الفعلية):

$$\begin{aligned}x_r &= \frac{X}{X_n} \\y_r &= \frac{Y}{Y_n} \\z_r &= \frac{Z}{Z_n} \\k &= 0.00856 \\ \varepsilon &= 903.3\end{aligned}\quad (7)$$

2.1.4 تجميع صورة *La*b* على أساس المتوسطات K.

تُعامل تقنية شهيرة للتجميع على أساس المتوسطات K [37، 38] كل جسم على أنه يحتل مكاناً في الفضاء. وتبحث عن تقسيمات على نحو تكون فيه الأشياء ضمن كل مجموعة قريبة من بعضها بقدر الإمكان، وبعيدة عن الأشياء في المجموعات الأخرى ما أمكن. ويتطلب التجميع على أساس المتوسطات K تحديد عدد المجموعات التي سوف تجري تجزئتها، ومعيار مسافة لتحديد مدى قرب جسمين من بعضهما. وفي العمل الحالي، استعملت المسافة الأقليدية المربعة معياراً للمسافة. ونظراً إلى أن معلومات الألوان موجودة في الفضاء *La*b*، فإن صورة الجسم تتمثل بيكسلات قيمها في الفضاء *a*b*. وقد اختير في العمل الحالي عدد للمجموعات يساوي 5 من أجل فصل الأوراق الخضراء، والأوراق البيضاء، وثمار الزيتون الخضراء، والأرجوانية المائلة إلى السواد، والبنية. ويُرى الشكل 22 نتائج تبديل الألوان إلى *La*b* والتجميع الناتج على أساس المتوسطات K لدفعة من الزيتون. وقد جُزئت الصورة الأصلية إلى 5 صور يتمييز كل منها بجسم ذي لون مختلف.

تخص المجموعتان 1 و3 الأوراق. وتُرى المجموعة 2 ثمار الزيتون الأرجوانية المسودة (نضج متقدّم) أو ثمار الزيتون الأرجوانية المسودة جزئياً نصف الناضجة. وتمثل المجموعة 4 الزيتون البني (نضج مثالي) أو البني جزئياً نصف الناضج. وأخيراً تمثل المجموعة 5 الزيتون الأخضر.



الشكل 22: تجميع صورة دفعة زيتون على أساس المتوسطات K.

3.1.4 كشف المنطقة التي توجد فيها أجسام مختلفة الألوان

بالإشارة إلى المجموعات 2 و4 و5، من الممكن تقدير النسبة المئوية لعدد ثمار الزيتون الموجودة في الدفعة التي في قيد المعالجة، وذلك بواسطة علاقة بسيطة. تُحسب نسبة الزيتون الأخضر المئوية G_0 ، على سبيل المثال، بوصفها نسبة مساحة الصورة (مقدرة بالبكسلات) المشغولة بأجسام خضراء في المجموعة ($A_{cluster5}$)، إلى مساحة الصورة الكلية (A_{image}):

$$G_0 = \frac{A_{clusters}}{A_{image}} \quad (8)$$

وبالمثل، يُمكن حساب النسبة المئوية لثمار الزيتون الأرجوانية المائلة إلى السواد (نضج متقدّم) والبنية (مثالية النضج). هاتان القيمتان هما B_0 و B_{p0} :

$$\begin{cases} B_{p0} = \frac{A_{cluster2}}{A_{image}} \\ B_0 = \frac{A_{cluster4}}{A_{image}} \end{cases} \quad (9)$$

تتطلب معالجة الصورة حاسوبياً أقل من 5 ثوانٍ لقياس درجة نضج الزيتون. وهذه مدة حسابية متوافقة مع إعدادات معدّل الأطر المذكورة سابقاً.

في المثال المبين في الشكل 22، القيم الناتجة هي:

$$\begin{cases} G_0 = 15.54\% \\ B_0 = 16.01\% \\ B_{p0} = 16.48\% \end{cases} \quad (10)$$

يمكن للقيم الثلاث G_0 و B_0 و B_{p0} أن تكون مفيدة في تقدير درجة نضج الزيتون، وسوف تُستعمل في تصميم البرمجيات. إلا أنه من غير الممكن تأكيد أن نضج الزيتون هو تابع خطي للون الزيتون (هذا صحيح فقط في حالة المحاصيل التي تعيّر لونها حين نضجها). فبضعة أصناف (محاصيل) تبقى خضراء حتى ما بعد نضجها، ويمكن لأنواع من الزيتون غير كاملة النضج أن تصبح سوداء، إما طبيعياً (مع تطوّر نضجها)، أو صناعياً (بالأكسدة). ويُعزى الاسوداد الطبيعي إلى تكوّن وتراكم الفلافانولات (Flavanols) والفلافونات (Flavones) والأنتوسيانينات (Anthocyanines) أثناء النضج. ويمكن جعل لون الزيتون غامقاً بطرائق مختلفة، تُستعمل في بعضها كيميائيات معيّنة، أو حتى أصبغة في بعض الأماكن [39]. لذا، ومن أجل التحديد الكامل لنضج الزيتون، من الضروري فهم الفرق بين الزيتون الناضج وذاك غير الناضج من حيث اللون الأخضر، وتقدير إن كان الزيتون قد عولج صناعياً. ولتحقيق ذلك، أُقيمت حملة تجريبية بغرض اختبار الخوارزمية المصممة في الحالات المختلفة، أي مع أنواع مختلفة من الزيتون. ويُري الجدول 15 نتائج التحويل إلى La^*b^* والتجميع على أساس المتوسطات K لأربعين دفعة من الزيتون جرى فحصها خلال الحملة. ووفقاً لما ذكر آنفاً، تمكّن الخوارزمية المصممة من تجزئة كل صورة ملتقطة إلى 5 مجموعات، منها المجموعات 2 و 4 و 5 التي تخصّ الزيتون.

وبالإشارة إلى دفعات الزيتون 60009 و 60014 و 60016 و 60042، من الممكن تدقيق نتائج تجميع الصور لزيتون من محصول وحيد، وهو الزيتون الشائع في منطقة توسكانا بإيطاليا. تتألف دفعة الزيتون 60009 من المحصول المسمى Frantoio، وهذا الصنف العطري العشي الطابع قوي النكهة الفاكهة يُصبح ذا لون أرجواني مائل إلى السواد حين نضجه. لذا فإن منظومة الرؤية الآلية تمكّن من الكشف الصحيح

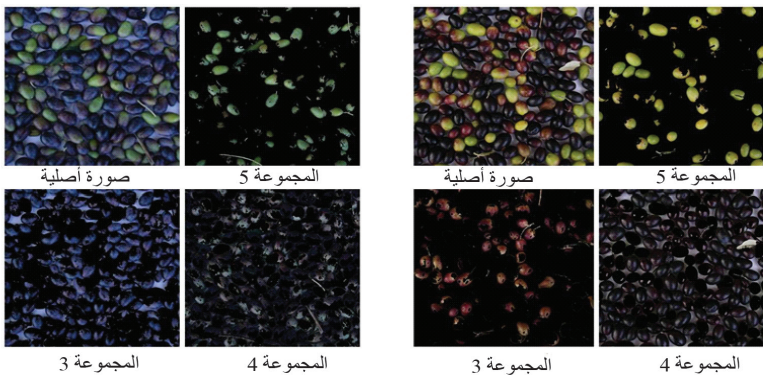
لدرجة النضج على أساس اللون. ويحصل نفس الشيء للدفعة 60014 (Moraiolo) التي يتغير لونها تدريجياً في أثناء النضج.

الجدول 15: نتائج التحويل *CIE La*b* والتجميع على أساس المتوسطات K لـ 40 دفعة زيتون جرى تفتيشها في أثناء حملة عام 2006 التجريبية.

المجموعة 5 (G ₀ %)	المجموعة 4 (B ₀ %)	المجموعة 2 (B _{P0} %)	Pendolino	Leccino	Moraiolo	Frantoio	دفعة الزيتون
21.19	29.85	6.66	0.00%	0.00%	0.00%	100.00%	60009
10.58	20.26	33.32	0.00%	100.00%	0.00%	0.00%	60010
43.65	8.41	5.97	100.00%	0.00%	0.00%	0.00%	60011
17.95	17.21	9.21	0.00%	0.00%	0.00%	100.00%	60012
39.03	14.8	9.57	0.00%	0.00%	0.00%	100.00%	60013
17.55	13.46	17.01	0.00%	0.00%	100.00%	0.00%	60014
28.05	17.11	9.75	0.00%	0.00%	0.00%	100.00%	60015
30.39	19.15	40.82	0.00%	100.00%	0.00%	0.00%	60016
13.94	24.30	21.84	0.00%	0.00%	0.00%	100.00%	60020
12.40	28.17	12.34	0.00%	0.00%	0.00%	100.00%	60021
19.62	20.17	6.40	0.00%	0.00%	0.00%	100.00%	060022/1
21.70	16.84	30.68	0.00%	0.00%	0.00%	100.00%	060022/2
6.97	29.55	30.37	100.00%	0.00%	0.00%	0.00%	60024
13.34	23.48	14.20	0.00%	0.00%	0.00%	100.00%	60025
18.12	18.81	17.456	33.00%	33.00%	33.00%	0.00%	060038/1
13.93	13.81	12.44	0.00%	67.00%	33.00%	0.00%	060038/2
15.72	9.13	49.23	0.00%	33.00%	33.00%	0.00%	60039
17.54	13.94	12.76	0.00%	0.00%	0.00%	100.00%	60040
9.08	14.31	58.25	0.00%	33.00%	33.00%	33.00%	60041
38.62	27.167	3.188	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	060042/1
11.15	40.50	17.98	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	060042/2
28.97	39.42	17.13	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	060042/3
12.47	15.96	51.86	33.00%	0.00%	33.00%	33.00%	60049
19.71	37.78	25.28	0.00%	0.00%	0.00%	100.00%	60050
40.12	17.52	10.52	33.00%	33.00%	0.00%	33.00%	60052
13.95	8.36	16.46	0.00%	0.00%	0.00%	100.00%	60053
32.86	16.47	11.01	0.00%	50.00%	50.00%	0.00%	60059
25.85	11.06	21.40	0.00%	0.00%	0.00%	100.00%	60060
21.04	6.69	14.98	0.00%	0.00%	0.00%	100.00%	60061
30.79	16.82	29.09	0.00%	0.00%	100.00%	0.00%	60062

15.26	14.20	42.51	0.00%	50.00%	0.00%	50.00%	60063
9.85	10.57	31.41	25.00%	25.00%	25.00%	25.00%	60064
14.50	32.73	21.72	0.00%	0.00%	0.00%	100.00%	60065
9.05	51.26	12.60	0.00%	0.00%	0.00%	100.00%	60070
24.97	23.84	32.17	0.00%	50.00%	50.00%	0.00%	60076
57.46	12.97	13.23	0.00%	100.00%	0.00%	0.00%	60078
36.40	5.47	25.78	100.00%	0.00%	0.00%	0.00%	60079
23.76	11.47	33.03	0.00%	50.00%	0.00%	50.00%	060084/1
18.65	15.40	13.82	0.00%	0.00%	0.00%	100.00%	060084/2

وتمثلّ الدفعة 60024 (Leccino) حالة مختلفة. يصبح هذا الصنف أرجوانياً مائلاً للسواد مبكراً وفوراً. لذا فإنّ التجزئة إلى أخضر وبني وأرجواني مسودّ ليس ملائماً لتوصيف درجة نضج هذا الصنف (ثمة نسبة صغيرة من الزيتون الأخضر في الدفعة في أثناء القطف). إلا أن الخوارزمية المقترحة تستطيع تكوين مجموعة من الصور من دون معلومات عن اللون الذي سوف يُفصل، ولا تحتاج إلا إلى عدد من الفئات لتصنيف الأجسام الملونة في الصورة. ووفقاً للمبيّن في الشكل (a) 23، وباستعمال 5 فئات من صور الدفعة 60024، من الممكن مرة أخرى تجزئة الزيتون إلى ثلاث فئات ليست خضراء وبنية وأرجوانية مائلة للسواد، بل خضراء وأرجوانية مائلة إلى السواد وسوداء. لذا، ومن دون الإخلال بعمومية الطريقة، من الممكن القول إن الخوارزمية المقترحة تستطيع دائماً تصنيف الزيتون على أساس لونه، وإعطاء 3 مجموعات على الأقل، أي ثلاث فئات من الألوان.



الشكل 23: تجميع على أساس المتوسطات || لصورة دفعة الزيتون 60024 (a) والدفعة 60049 (b).

والآن، ماذا يحصل حين فحص دفعة متعددة الأصناف؟ تتألف الدفعة من أنواع مختلفة يتميز كل منها بدرجة مختلفة من النضج. وفي هذه الحالة، يمكن لتكوين المجموعات أن تُسبب بعض الأخطاء في التصنيف من حيث درجة النضج على أساس اللون. على سبيل المثال، من الممكن النظر في حالة الدفعة 60049 المكوّنة من الأصناف Frantoio و Moraiolo و Leccino.

يُري الشكل (b) 23 المجموعات الناتجة. تمثّل المجموعة 4 الزيتون ذو اللون الأرجواني المائل إلى السواد، إلا أن هذا الزيتون قد يكون جزئياً من النوع Frantoio (الناضج)، لكنه في المقام الأول من النوع Leccino ذي درجات النضج المتفاوتة. ولهذا السبب من غير الممكن القول على نحو مؤكد أن درجة نضج هذه الدفعة متناسبة خطياً مع اللون. وقد حُلّت هذه المشكلة اليوم بتصحيح قيم G_0 و B_0 و B_{p0} بنسب الأنواع الموجودة في الدفعة (في هذا المثال، تتألف الدفعة من نسب متماثلة من الأنواع الثلاثة). وأُجري التصحيح للموسطات بمعرفة كيف يتغيّر لون كل محصول تدريجياً أثناء النضج، والمحصول الذي يغير لونه بسرعة أثناء ذلك. ويُجرى التصحيح فقط في حالة الدفعات المؤلفة من أكثر من محصول واحد من الزيتون.

ليكن:

α_i - نسبة الصنف رقم i من الدفعة الذي يغير لونه من أخضر إلى بنيّ إلى أرجواني مائل للسواد.

β_j - نسبة الصنف رقم j من الدفعة الذي يغير لونه من أرجواني مائل للسواد إلى أسود، وهو يمثل نسبة مئوية صغيرة من الزيتون الأخضر في أثناء الجني ويغيّر لونه سريعاً في أثناء النضج. من الواضح أن:

$$\sum_j \beta_j = 100 - \sum_i \alpha_i \quad (11)$$

وحينئذٍ، يُعطى تصحيح الموسطات G_0 و B_0 و B_{p0} بالمعادلات الآتية:

$$G'_0 = \frac{G_0}{\sum_i \alpha_i} (G_0 + B_0 + B_{p0}) \quad (12)$$

$$B'_0 = \frac{B_0}{\sum_i \alpha_i} (G_0 + B_0 + B_{p0}) \quad (13)$$

$$B'_{p0} = \sum_i \alpha_i [(G_0 + B_0 + B_{p0}) - (G'_0 + B'_0)] \quad (14)$$

$$B''_{p0} = (G_0 + B_0 + B_{p0}) - (G'_0 + B'_0 + B'_{p0}) \quad (15)$$

حيث G'_0 هي القيمة المصححة للزيتون الأخضر، و B'_0 هي القيمة المصححة للزيتون البني. أما متوسط الزيتون الأرجواني المائل إلى السواد B_{p0} ، فيمكن تجزئته إلى جزأين: B'_{p0} ، وهي نسبة الزيتون الأرجواني المائل إلى السواد في الصنف الذي يغير لونه من أخضر إلى بني إلى أرجواني مائل إلى السواد، و B''_{p0} : وهي نسبة الصنف الذي يغير لونه سريعاً أثناء النضج. وفي حالة الدفعة 60049، تُعطي الخوارزمية القائمة على الرؤية الآلية القيم: $B_{p0} = 51.85\%$ ، و $B_0 = 15.96\%$ ، و $G_0 = 12.47\%$. يأخذ الدليل i القيمتين 1 و 2، والدليل $j = 1$. $\alpha_1 = \alpha_2 = \beta_1 = 33\%$. وبتطبيق المعادلات السابقة من الممكن تقدير المتوسطات الآتية:

$$\begin{aligned} G'_0 &= 15.17\% \\ B'_0 &= 19.41\% \\ B'_{p0} &= 30.16\% \\ B''_{p0} &= 15.53\% \end{aligned}$$

ومن بين الـ 40 دفعة التي جرى فحصها، أدت هذه الافتراضات إلى تقدير المتوسطات المذكورة للدفعات 60049 و 60052 و 60064. والنتائج مبينة في الجدول 16.

الجدول 16: مقارنة بين نتائج التجميع (G_0 و B_0 و B_{p0}) والمتوسطات G'_0 و B'_0 و B'_{p0} و B''_{p0} .

G_0	B_0	B_{p0}	G'_0	B'_0	B''_{p0}	B'_{p0}	دفعة الزيتون
12.47	15.96	15.86	15.17	19.41	15.53	30.16	60049
40.12	17.52	10.52	41.43	18.09	2.93	5.69	60052
9.85	10.57	31.41	6.81	7.31	9.43	28.29	60064

2.4 تقييم سلامة الزيتون بواسطة خوارزميات معالجة الصورة

من أجل تقدير المتوسطات المرتبطة بسلامة دفعة الزيتون، جرى تطوير مُنْج قائمة على معالجة الصورة وتعتمد على طرائق العتبة وتؤدي المهام الآتية:

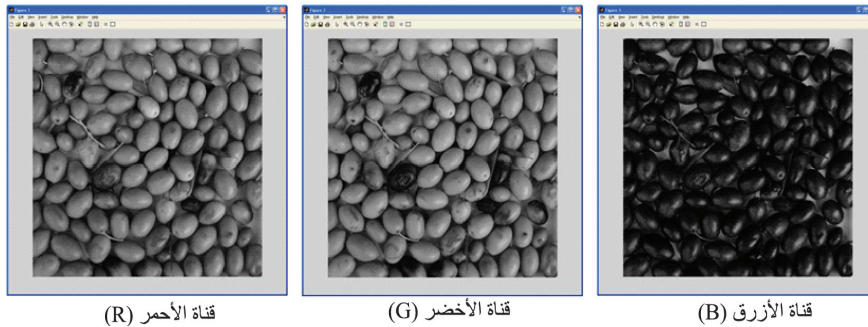
- فصل ألوان الصورة RGB إلى ثلاث قنوات R و G و B.
- طرح B من (G-B) G وتحديد عتبة.
- كشف العيوب على سطوح ثمار الزيتون الأخضر.

1.2.4 فصل RGB إلى ثلاث قنوات R و G و B

تتألف الصور الملتقطة رقمياً من ثلاث مصفوفات من الأعداد التي يأخذ كل منها قيمة في الحيز من [0 حتى 255]. وتمثّل كل مصفوفة قيم سطوح أحد الألوان: الأحمر والأخضر والأزرق. ويُرَى الشكل 25 فصل صورة الشكل 24 إلى ثلاث قنوات R و G و B (أي إلى مصفوفات R و G و B). وتمكّن كل قناة من كشف خصائص مختلفة موجودة في الصورة الملتقطة. ويتّضح فرق السطوح بين الزيتون الأخضر والزيتون الأرجواني المائل إلى السواد في القناة G. وفي القناة B، تُمكن رؤية كل ثمار الزيتون من دون تمييز، إضافة إلى انعكاس الضوء عنها.



الشكل 24: دفعة منتقاة من الزيتون (الدفعة 060042) موضوعة على غربال مقاسه يساوي 20 سم × 20 سم.



الشكل 25: قنوات الألوان RGB للصورة في الشكل 24.



الشكل 26: صورة ناتجة من طرح المصفوفة B من المصفوفة G.

2.2.4 طرح B من G وتكوين العتبة

بمقارنة القناة G بالقناة B، من الممكن أن نرى أن المناطق السوداء والأرجوانية المائلة إلى السواد لا تتغير سطوعها من قناة إلى أخرى. وينطبق الشيء نفسه على خلفية الصورة. لذا إذا طُرح كل عنصر من المصفوفة B من نظيره في المصفوفة G، من الممكن فصل الزيتون الأخضر في الصورة (مع بعض الأوراق)، وفقاً لما هو مبين في الشكل 26. لتكن H المصفوفة الناتجة من عملية الطرح:

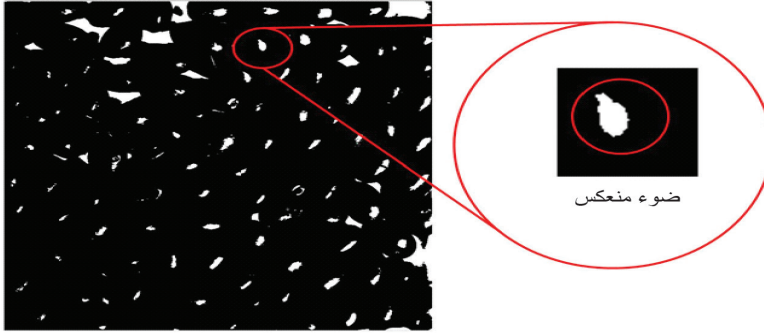
$$H = G - B \quad (16)$$



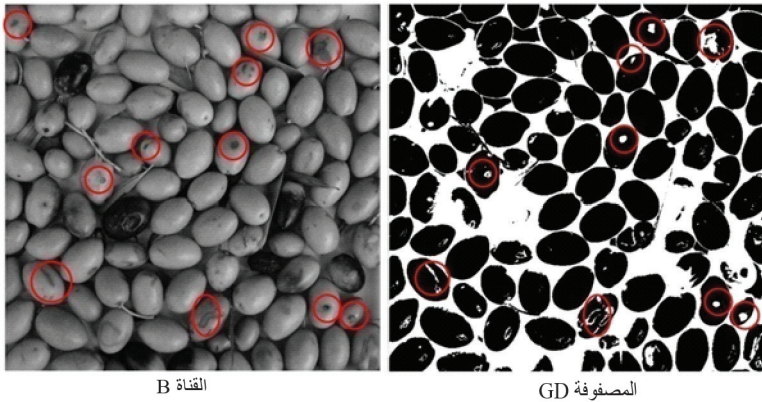
الشكل 27 : تحديد عتبة الصورة H.

الآن، تمثل المناطق الغامقة في ثمار الزيتون في المصفوفة H في نفس الوقت عيوب الزيتون وحالة انعكاسات الضوء عن تلك الثمار. ومن أجل كشف العيوب

الموجودة على الزيتون الأخضر، ثمّة حاجة إلى مزيد من تجزئة الصورة. لذا يمكن إجراء مقارنة لعناصر المصفوفة H مع عتبة لتحويل المناطق الغامقة في الصورة إلى بكسلات بيضاء. وتُجرى عملية المقارنة بالعتبة بواسطة طريقة الكشف بالعتبة المنخفضة (LTM) (Low Threshold Detection) [40]. ونتيجة هذه العملية هي مصفوفة منطقية BH (انظر الشكل 27).



الشكل 28: تحديد عتبة الصورة B وكشف الضوء المنعكس.



الشكل 29: كشف العيوب على سطوح ثمار الزيتون الخضراء.

3.2.4 كشف العيوب على ثمار الزيتون الأخضر

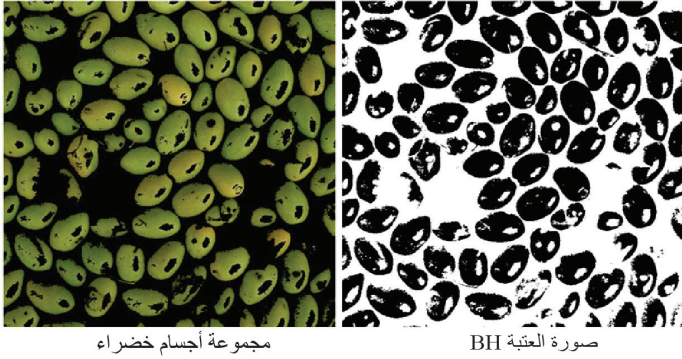
من أجل كشف عيوب ثمار الزيتون الخضراء فقط، من المفيد القيام بمهمة إضافية: مقارنة القناة B بعتبة. ومفعول المقارنة بالعتبة هو عزل انعكاسات الضوء من الصورة، وفقاً للمبيّن في الشكل 28. والنتيجة هي مصفوفة منطقية BB. وحيث إنّ

من الممكن كشف العيوب من خلال حساب مصفوفة GD (لعيوب الزيتون الأخضر) فقط وذلك بطرح BB من BH، عنصراً من عنصر:

$$GD = BH - BB \quad (17)$$

يتضح من الشكل 29 نجاح مقارنة الصورة الأصلية بالمصفوفة GD في كشف عيوب الزيتون الأخضر (أشير إلى بعض العيوب بدوائر حمراء).

أخيراً، يمكن إجراء تحليل بقعي للصورة GD من قياس بعض الخواص الهندسية للعيوب، خاصة مساحة العيب على كل ثمرة زيتون خضراء.



الشكل 30: طريقة تجميع على أساس المتوسطات K لكشف العيوب على ثمار الزيتون الأخضر.

وثمة طريقة أخرى لكشف العيوب على ثمار الزيتون الأخضر، وهي إجراء تجميع على أساس المتوسطات K للصورة وفقاً لما ذكر في المقطع السابق. ووفقاً لهذه الطريقة، من الممكن تجزئة الصورة الأصلية إلى ثلاث مجموعات، والنظر في المجموعة المؤلفة من ثمار الزيتون الخضراء فقط. في هذه المجموعة، تتمثل العيوب وانعكاسات الضوء ببقع سوداء على سطوح ثمار الزيتون. وبإجراء مقارنة هذه المجموعة بعتبة قائمة على طريقة الكشف بالعتبة المنخفضة، من الممكن تكوين مصفوفة BH مشابهة جداً للمصفوفة BH. وحينئذ يكون كشف العيوب مماثلاً للنهج المذكور آنفاً (انظر الشكل 30).

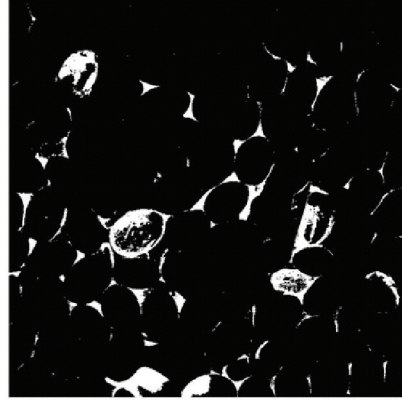
ووفقاً للدليل التجريبي (الناتج من فحص 40 دفعة زيتون بمنظومة الرؤية الآلية)، تُعتبر هذه الطريقة في حالة الزيتون الأخضر أقل وثوقية من الطريقة المذكورة سابقاً.

4.2.4 كشف عيوب الزيتون البني والأرجواني المائل إلى السواد

الطريقة السهلة المباشرة لكشف العيوب التي تحصل في الزيتون البني والأسود والأرجواني المائل إلى السواد هي تحويل الصورة الرمادية اللون G إلى صورة رقمية ثنائية [0 و 1]، وذلك بمقارنة عناصرها بعتبة محلية. ومن أمثلة نتائج هذه المقارنة بالعتبة المصنوفة BK الناتجة من مقارنة القناة الخضراء في صورة الدفعة 060042 بالعتبة. ويُرى الشكل 31 هذه المصنوفة مقارنةً بصورة الـ RGB الأصلية.



صورة أصلية RGB



صورة عتبة BK

الشكل 31: تأثير تكوين عتبة محلية في الصورة الأصلية وتعريف المصنوفة BK.

تنجم البقع الغامقة على سطوح ثمار الزيتون (مبيّنة بالأبيض) من وجود العيوب وانعكاسات الضوء عن ثمار الزيتون نفسها. وفصل هذين الأثرين عن بعضهما في حالة الزيتون الغامق ليس مهمة سهلة. أكثر من ذلك، إن الزيتون الناضج يتعرض غالباً إلى أنواع مختلفة من العيوب، ومنها مثلاً الرضوض التي لا تمثّل تغييراً ملحوظاً في سطوح ثمرة الزيتون. أما مساحة العيب في الزيتون الأرجواني المائل إلى السواد والبني والأسود فتُعتبر مساوية تقريباً لنصف مساحة البقع الغامقة في صورة عتبة القناة G بافتراض أن إضاءة ثمار دفعة الزيتون متجانسة، وأن انعكاسات الضوء تؤثر في 50% على الأكثر من سطوح الثمار.

5.2.4 موسطات السلامة

تمكّن المصنوفتان GD وBK المعرفّتان في الطريقة السابقة من تقدير بعض خواص دفعة الزيتون. بتفصيل أكبر، وبتسمية الصور الرقمية الثنائية وباستعمال

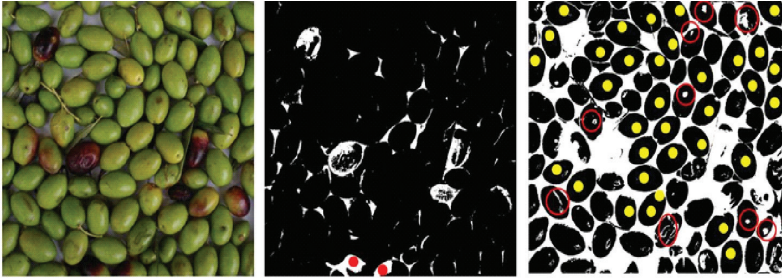
خوارزميات شهيرة للتحليل البقعي [41]، من الممكن تقدير:

- النسبة المئوية لثمار الزيتون السليمة S_0 ، وهي نسبة مساحة الصورة، مقدرة بالبكسل، المشغولة بثمار زيتون سليمة (خضراء وبني وأرجوانية مسودة) إلى مساحة الصورة الكلية (مقدرة بالبكسل). في الشكل 32، مُثلت ثمار الزيتون الخضراء السليمة بقع غامقة عُلِّمت بدوائر صفراء، في حين أن ثمار الزيتون الأرجوانية المسودة السليمة مُثلت بالبقع البيضاء التي عُلِّمت بدوائر حمراء.

- النسبة المئوية لثمار الزيتون المتضررة جزئياً P_D ، وهي نسبة المساحة (مقدرة بالبكسل) المشغولة بثمار متضررة جزئياً في الصورة (خضراء وبنية وأرجوانية مسودة) إلى مساحة الصورة الكلية (مقدرة بالبكسل).

- النسبة المئوية لثمار الزيتون المتضررة كلياً T_D ، وهي الفرق بين المساحة الكلية A_0 المشغولة بكل ثمار الزيتون في الصورة، والنسبتين المحسوبتين السابقتين، وتُعرَّف بـ:

$$T_D = A_0 - P_D - S_0 \quad (18)$$



صورة أصلية RGB

صورة عتبة BK

مصفوفة GD

الشكل 32: زيتون أرجواني مائل للسواد سليم (الدوائر الحمراء) وزيتون أخضر سليم (الدوائر الصفراء).

يُضاف إلى ذلك، من الممكن تعريف موَسط، يُسمى «موسط السلامة»، على أنه نسبة مجموع كل المساحات المشغولة بالعيوب A_D (مقدرة بالبكسل) إلى مجموع المساحات المشغولة بالزيتون A_0 :

$$S_p = \frac{A_D}{A_0} \quad (19)$$

سوف تُستعمل الموسطات S_0 و P_D و T_D و S_p مع G_0 و B_0 و B_{p0} و B'_{p0} و B''_{p0}

لتعريف عامل التأثير في عدد بيروكسيد الزيتون وفي حموضته، ولتدريب شبكة عصبونية صناعية قائمة على البرمجيات وفقاً لما هو مذكور في المقطع 5.

5- تصميم شبكة عصبونية صناعية قائمة على البرمجيات: تقدير البيروكسيدات ومستوى الحموضة والمركبات الفينولية في أثناء عملية استخراج الزيت

من أجل تصميم نموذج يمكنه تقدير الظروف التشغيلية للمعصرة وموسطات عملية استخراج الزيت، جرى تطوير برمجيات متخصصة باستعمال الشبكات العصبونية الصناعية [49]. وتستطيع هذه البرمجيات نمذجة عملية استخراج الزيت باستعمال تحكّم كمّي وتحليلي في خصائص زيت الزيتون البكر الفائق النقاء [42-44]. أولاً، وباستعمال بضعة موسطات زراعية (فترة جني الزيتون، ودرجة نضجه، وسلامته، وظروف تخزينه ودرجة حرارته)، وبضعة موسطات تكنولوجية (نوع ساحق المعصرة، ونوع آلة العجن، ودرجة حرارة العجن ومدته، ونسبة ماء تطرية عجينة الزيتون، ودرجة حرارة التصفية)، جرى تنفيذ نموذج يستطيع تقدير ومحاكاة جودة الزيتون المستخرج. وعلى وجه الخصوص، يمكن هذا النموذج من:

- الحصول على مستويات جودة للزيت محددة سابقاً بالتحكّم في بعض موسطات العملية في أثناء العملية.
- محاكاة عملية استخراج الزيت مع تحديد جودة الزيت في نفس الوقت.

الجدول 17: الموسطات المستعملة في عملية النمذجة

الموسطات المستعملة	طور العملية	
مدة الجني	جني الزيتون	الموسطات الزراعية
مستوى النضج		
السلامة		
ظروف التخزين	تخزين الزيتون	
درجة حرارة الزيتون المورّد		

نوع ساحق العصر	عصر الزيتون	الموسطات التكنولوجية
نوع آلة العجن		
درجة حرارة العجن	دعك عجينة الزيتون	
مدة العجن		
نسبة ماء تطرية العجينة	استخراج الزيت	
درجة حرارة استخراج الزيت		

الجدول 18: ثقل تأثير الطور في جودة الزيت.

ثقل تأثير الطور	
50%	عمليات جني الزيتون
30%	طريقة خزن الزيتون
15%	عملية استخراج الزيت الميكانيكية
5%	حفظ الزيت

ويشتمل هذا النموذج على جميع الخطوات من فرز الزيتون حتى استخراج الزيت. وتؤثر كل خطوة (انظر الجدول 17) في خصائص جودة الزيت (الحموضة، عدد البيروكسيد) تبعاً لبعض موسطات العملية، ولثقل تأثيرها (انظر الجدول 18).

ومع أن أثقال التأثيرات في جودة الزيت الرئيسية متباينة، إلا أن تلك الجودة تتأثر أيضاً بالموسطات الزراعية، أكثر منها بالموسطات التكنولوجية في أثناء معالجة الزيتون. وتتأثر خصائص جودة الزيت أثناء المعالجة بالظروف الجغرافية والمناخية أيضاً [47، 48].

ويخصّ النموذج المطور مع برمجياته التطبيقية منطقة توسكانا، إلا أنه يمكن تكيفه لأي منطقة جغرافية أخرى بعد تحصيل بيانات مشابهة للبيانات المقدمة هنا.

لقد أتت البيانات المستعملة هنا من اختبارات تجريبية مختلفة أُجريت في توسكانا أثناء جني الزيتون من عام 1997 حتى عام 2004 [47-48]. وباستعمال هذه المعلومات، أنشئت قاعدة بيانات للموسطات الزراعية والتكنولوجية مع ما يقابلها من قيم جودة وكمية الزيت المستخرج (انظر الجدول 9). وهي تتضمن 300 عينة تخص دفعات زيتون وفترات عمل وعمليات استخراج ومناطق جغرافية مختلفة. وجرى تطوير برمجيات النمذجة باستعمال صندوق عدة ماتلاب، وجرى التحقق من النتائج باختبارات تجريبية أُجريت في معصرة سانتا تي (Santa Tea) في ريغلو (Reggello) في فلورنسا، ومعصرة توربيانكا سان كسينانو في فال دي بيزا. وأجري تحليل زيت الزيتون لدى المخبر الكيميائي التابع للوكالة الخاصة بغرفة التجارة والصناعة والزراعة والحرف في فلورنسا.

1.5 خطوات تطوير النموذج

طُوِّرت إجراءات العمل وفقاً للخطوات الآتية (الشكل 33):

- 1- تكوين قاعدة بيانات زمنية متجانسة تحتوي على جميع بيانات الجني في الفترة 1999-2003.
- 2- إنشاء منظومة شبكة عصبونية صناعية بإمكانها تقدير الحموضة وعدد البيروكسيد في الزيت المستخرج، ودرجة حرارة العجن ومدته، وماء التطرية عند مدخل المصفي.
- 3- تحديد تقديرات الحموضة وعدد البيروكسيد مع عوامل تصحيح تأخذ في الحسبان الموسطات التقنية الأخرى في دورة الاستخراج وخواص الثمار الزراعية. وأُجريت الاختبارات التجريبية الخاصة بهذا العمل خلال سنوات مختلفة. يُضاف إلى ذلك أنه كانت ثمة حاجة إلى مجانسة وقائية للبيانات من ناحية مدد قاعدة البيانات الزمنية: نُسبت القيم التجريبية للحموضة وعدد البيروكسيد إلى قيمتها الأولى (قبل 6 تشرين الثاني/ نوفمبر) بغية حذف تأثير فترة المعالجة (انظر الجدول 19). وبعد أن أصبحت قاعدة البيانات جاهزة، جرى تنفيذ نموذج تُستعمل فيه الشبكات العصبونية الصناعية بهدف تحديد قيم الخرج بدلالة بعض الموسطات التقنية (انظر الشكل 33). يساوي عامل تأثير فترة العملية في كل من موسطي جودة الزيت (الحموضة وعدد البيروكسيد) نسبة القيمة الوسطى التي تُحدَّد لفترة عملية معينة

إلى القيمة المقاسة في أثناء فترة عملية مرجعية (بداية جني الزيتون مثلاً)، وذلك على أساس المقدار السنوي الوسطي للعينات التجريبية.

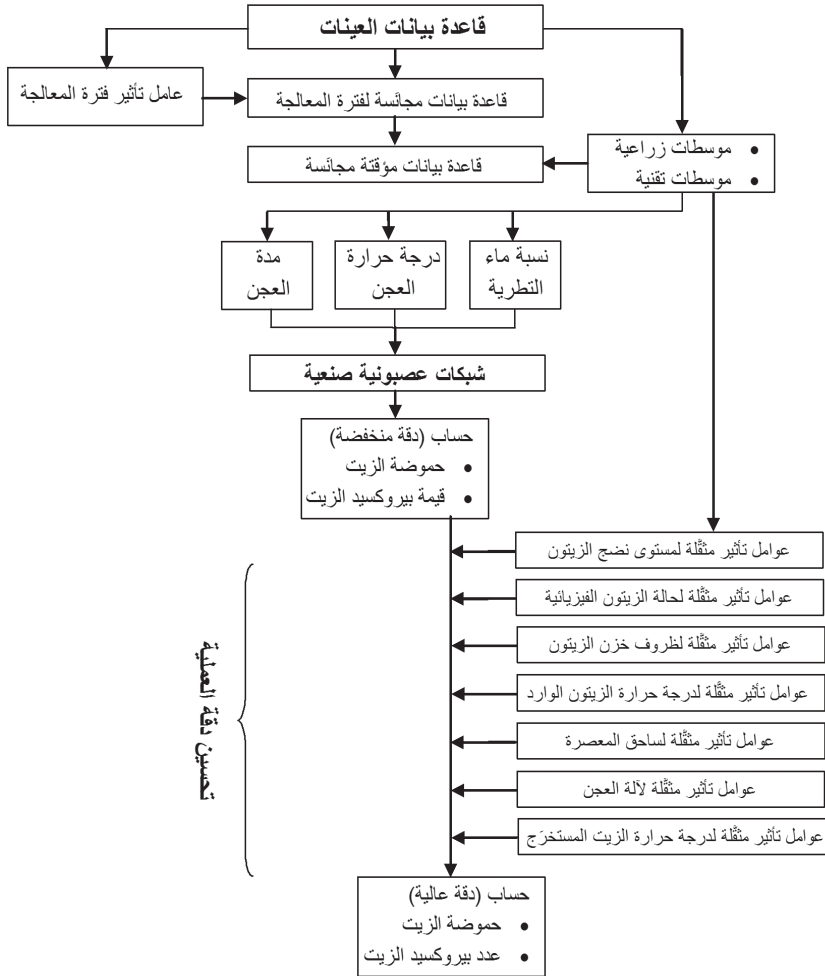
الجدول 19: عامل تأثير فترة المعالجة في موسطي جودة الزيت.

حموضة الزيت (A) [حمض أوليك %]	عدد بيروكسيد الزيت (Np) [meq O ₂ /kg]	فترة المعالجة	
1.00	1.00	قبل 6 تشرين الثاني/ نوفمبر	1
0.93	1.30	من 7 حتى 16 تشرين الثاني/ نوفمبر	2
0.93	1.75	من 17 حتى 27 تشرين الثاني/ نوفمبر	3
1.00	2.50	من 28 حتى تشرين الثاني/ نوفمبر حتى 5 كانون الأول/ ديسمبر	4
1.12	3.50	من 6 كانون الأول/ ديسمبر حتى 14 كانون الأول/ ديسمبر	5
1.25	4.65	بعد 15 كانون الأول/ ديسمبر	6

ووفقاً لما ذكر آنفاً، يمكن النظر إلى الشبكات العصبونية الصناعية [49] على أنها خوارزميات قادرة على محاكاة آلية التعلم غير المنتظمة في الكائنات الصغيرة الحيوية. وهي بذلك منظومة معقدة مكوّنة من خلايا حسابية (عصبونات) تستطيع بناء تابع يربط الدخل مع خروجه بعد تدريب تكراري التقائي على مجموعة دخل وخرج صحيحة. وينتهي هذا التدريب عندما يصبح الفرق (الخطأ) بين خرج التدريب والخرج المقدّر صغيراً بقدر كاف. وقد استعملت الشبكات العصبونية في هذا البحث بسبب سهولة تحديثها بالبيانات التي تُحصّل لاحقاً.

تتألف منظومة الحساب المطوّرة من شبكة عصبونية صناعية أمامية التغذية خلفية الانتشار (Feed-Forward Back Propagation) ذات توابع تفعيل سيغموودية (Sigmoidal Activation Function)، وخوارزمية تدريب ليفميرغ - ماركواد (Levenberg-Marquardt) [44]. وتمّ الحصول على مجموعة التدريب باستعمال

200 عينة كل منها يحتوي على 3 مدخلات ومخرجين. والمدخلات هي درجة حرارة العجن (Tgram) [293 درجة كلفن، 308 درجة كلفن]، ومدة العجن (Cgram) [1200 ثانية، 7200 ثانية]، ونسبة ماء التطرية عند مدخل المصفي (0% H₂O)، أما الخرجان فهما عدد بيروكسيد الزيت (Np)، وحموضته (A). ويمكن اعتبار هذا النموذج الرياضي على أنه تابع تحويل $R^3 \rightarrow R^2$: لكل مجموعة دخل ثلاثية (Tgram, Cgram, %H₂O)، يحسب زوج للخروج (Np, A).



الشكل 33: المخطط المنفذ لنموذج عملية عصر الزيتون.

وحيث اكتمال التدريب، يمكن حساب الحموضة وعدد البيروكسيد بالمقارنة بمجموعة دخل جديدة. وجرى تدقيق كفاءة منظومة الحساب باستعمال عينات

قاعدة بيانات لم تُستعمل في أثناء طور التدريب. وبيّنت المقارنة بين القيم المحسوبة والقيم المعروفة وجود خطأ وسطي يساوي 9%. ويُعزى هذا الاختلاف إلى تقدير موسطين باستعمال ثلاثة متوسطات تقنية فقط من دون الأخذ في الحسبان لخصائص الثمار الزراعية، وموسطات دورة الاستخراج التقنية الأخرى. ومن الواضح أن النتيجة الحاصلة منخفضة الدقة. ولذا، طُوّرت إجراءات لتحسين الدقة تأخذ في الحسبان الموسطات الأخرى التي تؤثر في خواص جودة الزيت (Np, A). ويُضرب خرج الشبكة العصبونية الصناعية بعوامل مؤثرة تخص الموسطات الزراعية والتقنية (انظر الشكل 33). وباستعمال عينات قاعدة بيانات تجريبية، حُدّدت ترابطات تحليلية بين موسطي الجودة (الحموضة وعدد البيروكسيد) وكل من الموسطات الزراعية والتقنية التي لم تُستعمل في منظومة الشبكة العصبونية. بذلك جرى تحصيل عوامل مؤثرة معيّنة في نحو محدد: تُضاعف هذه العوامل مخرجات منظومة الشبكة العصبونية مؤدية إلى زيادة مستوى دقتها.

وحُدّدت إجراءات العمل على النحو الآتي:

- 1- أُعطي عدد بيروكسيد الزيت وحموضته في العملية قيمتهما الوسطيتين.
- 2- اختيرت مجموعة من العينات المتجانسة الموثوقة من حيث منشأ الزيتون وخصونه، وذلك من أجل كل من الموسطين.
- 3- عُرِّفت حالة مرجعية مُميّزة بعامل تأثير يساوي 1 لكل موسط.
- 4- حُسبت عوامل تأثير للحالة غير المرجعية في شكل نسبة القيمة الوسيطة للموسط (عدد بيروكسيد الزيت أو حموضته) إلى قيمته في الحالة المرجعية.
- 5- حُسب كل عامل تأثير، ما عدا مدة معالجة الزيتون، باستعمال أثقال تأثيرات أطوار العملية. فإذا كان العامل أصغر من 1، اعتُبر مساوياً لـ 1 مطروحاً منه جداء عاملين: ثقل التأثير الخاص بالموسط، والفرق بين 1 وقيمة الموسط. على سبيل المثال، جرى تصحيح عامل تأثير خزن الزيتون المساوي لـ 0.8 ليصبح $0.94 = 0.3(1 - 0.8) + 1$. يعتمد الفرق (0.8 - 1) على طريقة التخزين (30%) وعلى موسطات أخرى (70%). وإذا كان العامل أكبر من 1، كان مساوياً لـ 1 مضافاً إليه جداء عاملين: ثقل التأثير الخاص بالموسط، والفرق بين قيمة الموسط المعني و1. على سبيل المثال، صُحِّح عامل تأثير تخزين الزيتون المساوي لـ 0.8 ليصبح $1.24 = 1 + 0.3(1.8 - 1)$.

2.5 تعريف عامل التأثير

جرى حساب عامل التأثير المثقل لنضج الزيتون المعالج باستخدام درجات مختلفة من النضج، بعد اعتبار أن نسبة الزيتون الأخضر هي G_0 ، وأن نسبة الزيتون المثالي النضج هي B_0 ، وأن نسبة الزيتون المتقدم النضج هي B_{p0} [52]. وعُبر عن عاملي تأثير عدد بيروكسيد الزيت (c_{gm_Np}) وهوضته (c_{gm_A}) على النحو الآتي:

$$c_{gm_Np} = 0.9 \frac{G_0}{100} + 1 \frac{B_0}{100} + 1.105 \frac{B_{p0}}{100} \quad (20)$$

$$c_{gm_A} = 0.79 \frac{G_0}{100} + 1 \frac{B_0}{100} + 1.075 \frac{B_{p0}}{100} \quad (21)$$

ومن أجل دفعة من الزيتون من محاصيل مختلفة ذات درجات نضج مختلفة، تصبح المعادلتان السابقتان على النحو الآتي:

$$c_{gm_Np} = 0.9 \frac{G'_0}{100} + 1 \frac{B'_0}{100} + 1.105 \frac{B'_{p0}}{100} + 1.105 \frac{B''_{p0}}{100} \quad (22)$$

$$c_{gm_A} = 0.79 \frac{G'_0}{100} + 1 \frac{B'_0}{100} + 1.075 \frac{B'_{p0}}{100} + 1.075 \frac{B''_{p0}}{100} \quad (23)$$

وبالمثل، عُرّف عاملا تأثير السلامة المثقلان الخاصان بعدد البيروكسيد c_{ss_Np} والحموضة (c_{ss_A}) بأنها المعدل المثقل لنسبة الزيتون السليم المئوية (S_0)، ونسبة الزيتون المتضرر جزئياً المئوية (P_D)، ونسبة الزيتون المتضرر كلياً المئوية (T_D) [53]:

$$c_{ss_Np} = 1 \frac{S_0}{100} + 0.87 \frac{P_D}{100} + 1.665 \frac{T_D}{100} \quad (24)$$

$$c_{ss_A} = 1 \frac{S_0}{100} + 0.945 \frac{P_D}{100} + 2.26 \frac{T_D}{100} \quad (25)$$

وفي ما يخص طرائق الخزن [40، 41]، تم الحصول على عاملي التأثير باستعمال بيانات السلامة بعد اعتبار أن الثقل يساوي 30% بدلاً من 50%.

عُرّف عامل تأثير درجة حرارة الزيتون في الحموضة $coef_A$ في بداية العملية (T_{olive}) بمعادلة الاستيفاء (Interpolation) التربيعية الآتية:

$$coef_A = \xi(T_{olive})^2 + \beta T_{olive} + \gamma \quad (26)$$

حيث $\xi = 0.0015$ ، $\beta = -0.003$ ، $\gamma = 0.75$.

ويتضمن الجدول 20 عوامل التأثير الخاصة بساحق المعصرة [48] وآلة العجن [47، 52].

الجدول 20: عوامل تأثير ساحق المعصرة وآلة العجين في موسطات جودة الزيت.

حموضة الزيت [A] حمض الأولييك [%]	عدد بيروكسيد الزيت [meq O ₂ /kg] (Np)		
1.000	1.000	سحق بالقرص	ساحق المعصرة
1.022	1.116	سحق بالمطرقة	
1.071	1.058	سحق بالجرش	
1.0000	-	محور أفقي	آلة العجن
1.0405	-	محور عمودي	

وَعُرِفَ عاملاً تأثير درجة الحرارة عند مخرج المصفي (T_{ol_us}) على النحو الآتي:

$$c_{T_{ol_us}-Np} = \begin{cases} 1 & \text{if } T_{ol_us} \leq 300 \text{ K} \\ \delta(T_{ol_us})^2 - \varepsilon(T_{ol_us}) + \varsigma & \text{if } T_{ol_us} > 300 \text{ K} \end{cases} \quad (27)$$

حيث $\delta = 0.005$, $\varepsilon = 0.3$, $\varsigma = 5$

$$c_{T_{ol_us}-A} = \begin{cases} 1 & \text{if } T_{ol_us} \leq 302 \text{ K} \\ \theta(T_{ol_us})^2 - \lambda(T_{ol_us}) + \mu & \text{if } T_{ol_us} > 302 \text{ K} \end{cases} \quad (28)$$

حيث $\theta = 0.002$, $\lambda = 0.1$, $\mu = 2.3$

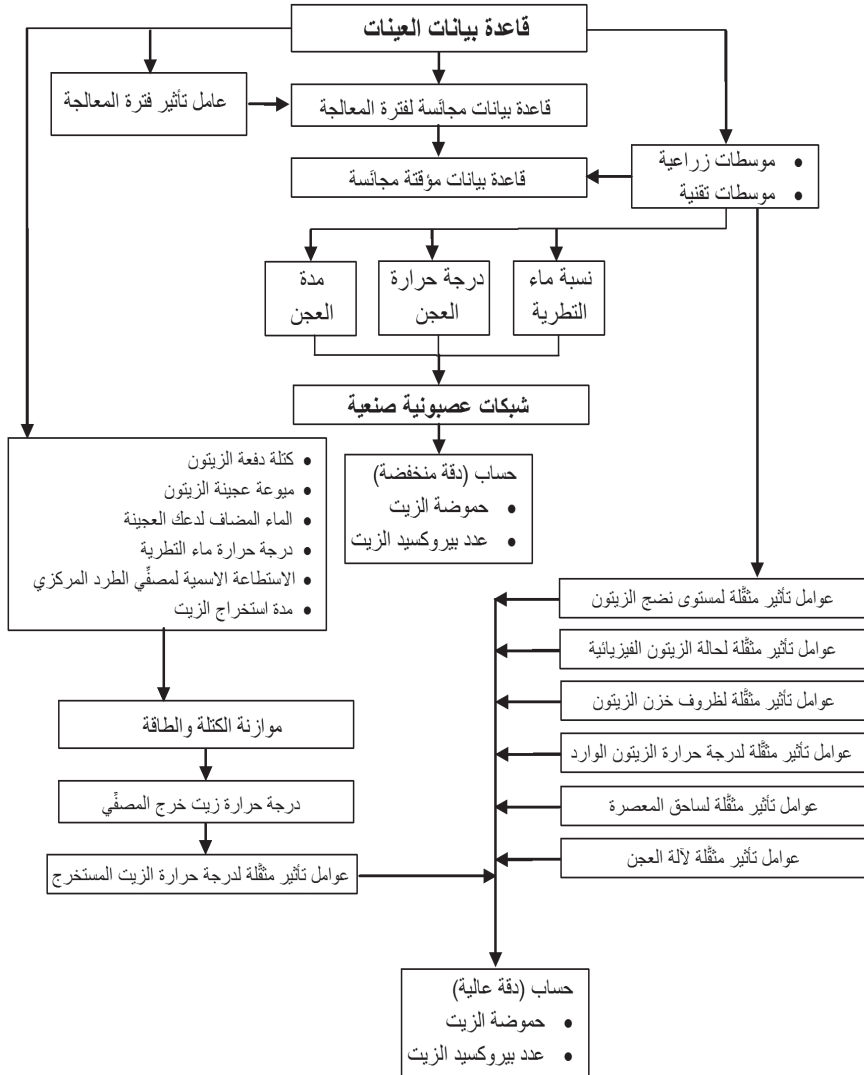
وباستعمال البيانات المتوافرة، لم توجد درجة حرارة للزيتون ذات مغزى عند بداية العملية، ولا عوامل تأثير لنوع آلة العجن تخص عدد بيروكسيد الزيت.

3.5 المحاكاة

يمكن استعمال البرمجيات التي طُوِّرت إما لاختبار جودة الزيت المستخرج، أو لمحاكاة عملية الاستخراج وتقييم أدائها. لكن لا يمكن إدراج درجة حرارة الزيت عند مخرج مصفي الطرد المركزي من دون الأخذ في الحسبان لموسطات العملية الأخرى. ويجب تحديد درجة حرارة الزيت بمعرفة توازنات الكتلة والطاقة في سلسلة العمليات (الشكل 34).

ومن الممكن دراسة مصفي الطرد المركزي بوصفه منظومة كظومة (حافضة للحرارة) محدودة السطح [46، 55] من دون مفايد طاقة، مع تدفقين في الدخل ممتزجين معاً (عجينة زيتون وماء تطرية). وباستعمال وحدة تغذية طاقة خارجية، تُفصل عجينة زيت الزيتون

بالطرد المركزي إلى ثلاثة تدفقات في الخرج: ثفل، وماء مع آثار من زيت، وزيت مع آثار من الماء (انظر الجدول 21). لقد طُوِّرت هذه الطريقة المبسّطة بهدف تعميم إجراءات الحاسوب، ولولا ذلك لوجب تنفيذ نموذج تفصيلي لكل آلة على حدة يأخذ في الحسبان الخصائص التقنية الخاصة بها.



الشكل 34: نمط المحاكاة في البرمجيات.

الجدول 21: كثافة مرَكِّبات الزيتون وحرارتها النوعية.

الكثافة [كغ/دسم3]	الحرارة النوعية [كحول/ كغ K]	
0.92	0.10	زيت زيتون
1.00	0.24	ماء
1.50	0.12	كتلة جافة

من أجل محاكاة عملية استخراج زيت الزيتون، يمكن هذا التمثيل لمصفي الطرد المركزي من وضع معادلات لموازنة الطاقة والكتلة يمكن بواسطتها حساب متوسطات خرج المصفي بوصفها توابع للدخل. وتطبيق هذه المنهجية، يمكن حساب درجة حرارة زيت الخرج الممزوج بآثار من الماء، وعامل تأثيره المتقل، وجودة الزيت.

تُعطى موازنة الطاقة في مصفي الطرد المركزي بالعلاقة الآتية:

(29)

$$P t_{ex} + m_{a_{in}} C_{a_{in}} T_{a_{in}} + m_{pa_{in}} C_{pa_{in}} T_{pa_{in}} = m_{a_{us}} C_{a_{us}} T_{a_{us}} + m_{ol_{us}} C_{ol_{us}} T_{ol_{us}} + m_{ss} C_{ss} T_{ss}$$

حيث:

P : استطاعة مصفي الطرد المركزي (الوسطية).

t_{ex} : مدة استخراج الزيت بالطرد المركزي لدفعة كاملة.

$m_{a_{in}}$: تدفق ماء التطرية في الدخل.

$C_{a_{in}}$: الحرارة النوعية لماء التطرية في الدخل.

$T_{a_{in}}$: درجة حرارة ماء التطرية في الدخل.

$m_{pa_{in}}$: تدفق معجونة الزيتون في الدخل.

$C_{pa_{in}}$: الحرارة النوعية لمعجونة الزيتون في الدخل.

$T_{pa_{in}}$: درجة حرارة عجينة الزيتون في الدخل.

$m_{a_{us}}$: تدفق الماء (مع آثار من الزيت) في الخرج.

C_{a_us} : الحرارة النوعية لماء الخرج (مع آثار من الزيت).

T_{a_us} : درجة حرارة ماء الخرج (مع آثار من الزيت).

m_{ol_us} : تدفق الزيت (مع آثار من الماء) في الخرج.

C_{ol_us} : الحرارة النوعية لزيت الخرج (مع آثار من الماء).

T_{ol_us} : درجة حرارة زيت الخرج (مع آثار من الماء).

m_{sa} : تدفق التفل في الخرج.

C_{sa} : الحرارة النوعية للتفل في الخرج.

T_{sa} : درجة حرارة التفل في الخرج.

لقد عبّر عن المتوسطات المبيّنة في العلاقة السابقة بدلالة متوسطات دخل البرمجيات. وباستعمال معادلة الموازنة السابقة، يمكن حساب درجة حرارة زيت الخرج على النحو الآتي:

$$T_{ol_us} = \frac{1}{m_{ol_us} C_{ol_us}} (P t_{ex} + m_{a_in} C_{a_in} T_{a_in} + m_{pa_in} C_{pa_in} T_{pa_in} - m_{a_us} C_{a_us} T_{a_us} - m_{sa} C_{sa} T_{sa})$$

وفي أثناء طور العجن، يُنتج كل محصول من الزيتون عجينة ذات خصائص ميوعة معيّنة. وبغية تبسيط منهجية النمذجة، عرّف ظرفاً ميوعة مرجعيان هما:

● **عجينة نوع 1:** لا يحتاج اندماج تكتلات قطرات الزيت الضئيلة إلى مدة طويلة، ولا إلى درجة حرارة عالية في أثناء طور عملية العجن، إلا أن إضافة الماء تتيح فصلاً أسهل بالطرد المركزي.

● **عجينة نوع 2:** تجعل خواص الميوعة العمليات الميكانيكية صعبة. وبغية تقليص تدفق المستحلبات السائلة، وتحسين اندماج تكتلات قطرات الزيت الضئيلة، يمكن لزيادة مدة عملية العجن ودرجة حرارتها، وتقليص كمية ماء التطرية أن تسمح بتسهيل الفصل بالطرد المركزي.

باستعمال البيانات المتوافرة [42]، جرى تحديد النسبة المئوية الوسطية للتركيب الكتلي لكل من نوعي العجينة (انظر الجدول 22).

الجدول 22: مثال للتركيب الكتلي لعجينة الزيتون.

عجينة نوع	زيت %	ماء %	كتلة جافة %
عجينة نوع 1	26.5	41.5	32.0
عجينة نوع 2	22.5	48.5	29.0

ويمكن حساب الحرارة النوعية للعجينة عند خرج العجانة (أو دخل مصفّي الطرد المركزي) بوصفها قيمة وسطية مقلّلة لنسب الكتل المئوية الواردة في الجدول 22:

$$c_1 = 0.265 c_{ol} + 0.415 c_{aq} + 0.32 c_{sec} = 0.164 \frac{kJ}{kgK}$$

$$c_2 = 0.225 c_{ol} + 0.485 c_{aq} + 0.29 c_{sec} = 0.173 \frac{kJ}{kgK} \quad (31)$$

حيث:

c_1 : الحرارة النوعية لعجينة النوع 1.

c_2 : الحرارة النوعية لعجينة النوع 2.

c_{ol} : الحرارة النوعية للزيت.

c_{aq} : الحرارة النوعية للماء.

c_{sec} : الحرارة النوعية للكتلة الجافة.

وعلى نحو مشابه، يمكن حساب الحرارة النوعية لخرج مصفّي الطرد المركزي (ماء يحتوي على أثر من الزيت، وزيت يحتوي على أثر من الماء، وثفل):

$$c_{sa} = 0.035 c_{ol} + 0.365 c_{aq} + 0.60 c_{sec} = 0.162 \frac{kJ}{kgK}$$

$$c_{a_{us}} = 0.01 c_{ol} + 0.90 c_{aq} + 0.09 c_{sec} = 0.227 \frac{kJ}{kgK}$$

$$c_{ol_{us}} = 0.90 c_{ol} + 0.90 c_{aq} + 0.01 c_{sec} = 0.112 \frac{kJ}{kgK} \quad (32)$$

وقد أظهرت البيانات المتوافرة الخاصة بتدفّقات الخرج من مصفّي الطرد المركزي [45، 46] فروقاً بين درجة حرارة الماء (الذي يحتوي على أثر من الزيت) ودرجة حرارة الزيت (الذي يحتوي على أثر من الماء) تقع قيمها ضمن حيز 0.5-2.2 K مع قيمة وسطية تساوي 1.4 K:

$$T_{a_us} = T_{ol_us} + 1.4 \quad (33)$$

وتتضمّن البيانات المتوافرة لمصفيّ طرد مركزي ثلاثي المخارج درجة حرارة تفل أخفض (بـ 1 K) من درجة حرارة الماء مقارنة بما يُعطيه نموذج المصفيّ، لأن الاحتكاك الداخلي للكتلة المطرودة مركزيا يُحوّل طاقة الطرد المركزي الحركية إلى حرارة. وتنتقل الحرارة من محور المصفيّ إلى الأسطوانة الدوارة مؤدية إلى ازدياد درجة الحرارة تبعا للحرارة النوعية لكل مركّب. ويعطي الماء، الذي يتصف بحرارة نوعية عالية، ويقع بين الزيت والتفل، تدرّجا لدرجة الحرارة بين الماء والتفل أكبر من ذلك بين الزيت والماء:

$$T_{sa} = T_{a_us} + 1 \quad (34)$$

وقد وُضع نظام ثلاث معادلات لموازنة كتلة دخل وخرج المصفيّ بافتراض أن كامل مدة الاستخراج هي (t_{estr}):

$$\begin{aligned} m_{ol_in} &= 0.01 m_{a_us} + 0.9 m_{ol_us} + 0.035 m_{sa} \\ m_{a_in} &= 0.9 m_{a_us} + 0.09 m_{ol_us} + 0.365 m_{sa} \\ m_{sec} &= 0.09 m_{a_us} + 0.01 m_{ol_us} + 0.6 m_{sa} \end{aligned} \quad (35)$$

ومجاهيل هذا النظام من المعادلات هي m_{a_us} و m_{ol_us} و m_{sa} ، في حين أن m_{ol_in} و m_{a_in} و m_{sec} هي موسطات معروفة يُعبّر عنها بدلالة كتلة دفعة الزيتون (m_{olive})، ونسبة ماء التطرية المثوية عند مدخل المصفيّ منسوبة إلى كتلة الزيتون ($\%H_2O$)، والنسبة المثوية للماء الإضافي عند العجانة (a) ونوع العجينة:

عجينة النوع 1:

$$\begin{aligned} 0.265 m_{olive} &= 0.01 m_{a_us} + 0.9 m_{ol_us} + 0.035 m_{sa} \\ (0.415 + \%H_2O + \alpha)m_{olive} &= 0.9 m_{a_us} + 0.9 m_{ol_us} + 0.365 m_{sa} \\ 0.32 m_{olive} &= 0.09 m_{a_us} + 0.01 m_{ol_us} + 0.6 m_{sa} \end{aligned} \quad (36)$$

عجينة النوع 2:

$$\begin{aligned} 0.225 m_{olive} &= 0.01 m_{a_us} + 0.9 m_{ol_us} + 0.035 m_{sa} \\ (0.485 + \%H_2O + \alpha)m_{olive} &= 0.9 m_{a_us} + 0.9 m_{ol_us} + 0.365 m_{sa} \end{aligned}$$

$$0.29 m_{olive} = 0.09 m_{a_us} + 0.01 m_{ol_us} + 0.6 m_{sa} \quad (37)$$

وحلول نظام المعادلات هي تدفقات الكتلة عند مخرج مصفّي الطرد المركزي بدلالة كتلة دفعة الزيتون:

عجينة النوع 1:

$$\begin{aligned} m_{a_us} &= [0.236 + 1.183(\%H_2O + \alpha)]m_{olive} \\ m_{ol_us} &= [0.273 + 0.00629(\%H_2O + \alpha)]m_{olive} \\ m_{sa} &= [0.49 + 0.176(\%H_2O + \alpha)]m_{olive} \end{aligned} \quad (38)$$

عجينة النوع 2:

$$\begin{aligned} m_{a_us} &= [0.337 + 1.183(\%H_2O + \alpha)]m_{olive} \\ m_{ol_us} &= [0.229 + 0.00629(\%H_2O + \alpha)]m_{olive} \\ m_{sa} &= [0.439 + 0.176(\%H_2O + \alpha)]m_{olive} \end{aligned} \quad (39)$$

حيث:

$m_{olive} H_2O$: النسبة المئوية لماء التطرية عند مدخل مصفّي الطرد المركزي منسوبة إلى كتلة الزيتون.

αm_{olive} : النسبة المئوية للماء الإضافي في عجينة الزيتون في خرج العجانة منسوبة إلى كتلة الزيتون.

وقد حُسبت درجة حرارة الزيت T_{ol_us} من عبارتي تدفق الكتلة ودرجة الحرارة الخاصتين بخرج المصفّي:

عجينة النوع 1:

$$T_{ol_us} = \frac{J+(1+\alpha)0.686T_{pa_in}+1.113+1.286K}{0.685+K} \quad (40)$$

عجينة النوع 2:

$$T_{ol_us} = \frac{J+(1+\alpha)0.725T_{pa_in}+1.166+1.286K}{0.727+K} \quad (41)$$

حيث:

$$J = \%H_2O T_{aq_ing} + \frac{P_{tex}}{m_{olive}} \quad \text{and} \quad K = (\%H_2O + \alpha) \quad (42)$$

باستعمال نموذج المحاكاة، وُضعت درجة حرارة العجينة عند مدخل المصفي باستعمال (T_{pa_in}) مساوية لدرجة حرارة العجن الوسطى تقريباً، وذلك باستعمال البرمجيات في نمط المحاكاة. وباستعمال قيم وسطية مثقّلة وأخرى محسوبة لتدفقات الكتلة، يمكن تطبيق البرمجيات على مصفيات ثنائية أو ثلاثية التدفقات.

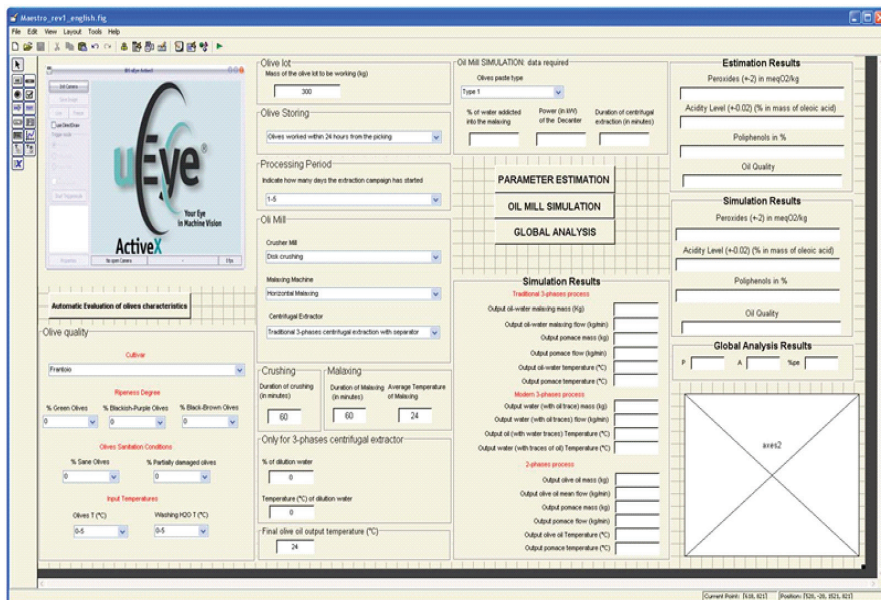
4.5 تقدير الفينولات المتعددة (البوليفينول)

لا يمكن تطوير منظومة برمجيات قادرة على تقدير ومحاكاة جودة الزيت على أساس عملية الاستخراج بمعزل عن ما هو موجود في المنشورات العلمية. يُضاف إلى ذلك أن جميع الموسطات المستنتجة في أثناء الحملة التجريبية سوف تكون مترابطة بواسطة صيغ تحليلية وبرمجيات قائمة على الشبكات العصبونية الصناعية. وتسمح الصيغ التحليلية بتعريف سلسلة من العوامل التي تؤثر في جودة الزيت. وقد جرى التحقق من جميع عوامل التأثير من خلال نتائج الاختبارات التجريبية، أما صيغها فقد أُخذت من المنشورات العلمية والتقنية. وسوف نتحرى الآن آخر ما هو موجود في مجال تأثير الموسطات التقنية في جودة زيت الزيتون. لقد استُقصي تأثير مدة دعك عجينة الزيتون في تركيب الناتج الصناعي من الزيت في عام 2002 [56]. فقد عولجت ثلاثة أصناف من الزيتون الطلياني (Leccino, Dritta, Caroleo) في هذا العمل باستعمال منظومة طرد مركزية، وذلك خلال ست فترات عجن: 0 و 15 و 30 و 45 و 60 و 75 دقيقة. وقد تغيّرت تراكيز معظم مركّبات الزيت في أثناء العجن. إلا أن تلك التغيّرات لم تكن مهمة في جميع الأصناف. واستُقصيت في عام 2008 [57] العلاقة بين درجة حرارة العجينة في أثناء العجن، وتركيز فينولات الهيدروفوليك في زيت الزيتون، أي الفينولات البسيطة والسيكوإيريديونات والليغنانات. وُجدت زيادة ذات مغزى ($p < 0.05$) في تركيز الفينولات الكلية، وبلغت قيمتها العظمى عند درجة حرارة تساوي $27^\circ C$ ، في حين أنه شوهد تناقص مستمر عند درجات حرارة أعلى ($30-36^\circ$ مئوية). وسُجّلت أنماط مشابهة تقريباً لجميع مركبات السيكوإيريديود. وأجري استقصاء تجريبي لتقدير تأثير درجات الحرارة المختلفة في جودة الزيت، خاصة في المكوّنات الفينولية، حين سحق الزيتون بالطريقة ودعك العجينة [58]. وأظهرت النتائج التي تمّ الحصول عليها أن درجة الحرارة أثّرت

في انتشار المركبات الفينولية في الزيت. وقد قيست مقادير أكبر من الهيدروكسي تيروسول (Hydroxytyrosol)، والتيروسول (Tyrosol)، والحمض الكافييني (Caffeic Acid) (حمض البن)، وحمض هيدروكسي الكافييني (Hydroxycaffeic Acid)، والأوليوروبين (Oleuropeine) في الزيوت التي نتجت من زيتون بُرد سابقاً. وأدّى العجن إلى خفض الفينول الكلي حينما أُجري على زيتون سُحق عند درجة حرارة أعلى (18°C)، في حين أنه أدى إلى زيادة بسيطة حين تم إجراؤه على عجينة لزيتون جرى تبريده سابقاً (6°C). وقد اقتنع بعض الخبراء [59] أن مقداراً أكبر من الطاقة في منظومة السحق، وعدداً أكبر من الدورات تسمح باستخراج كميات أكبر من مركبات الفينول، في حين أن آخرين يجادلون بأن هذه العوامل تسبب زيادة في درجة الحرارة تؤدي إلى تخفيض المحتوى من مضاد الأكسدة [60]. ومع ذلك، فقد بيّن مؤلفو المرجع [61] أن درجات الحرارة التي هي أدنى من درجة حرارة المحيط لا تساعد على استخراج المركبات الفينولية، ولذا في هذه الحالة، تكون السواحق ذات الطاقة العليا هي المفضّلة. وفي العمل الحالي، ترابط تقدير المركبات الفينولية بقوة مع البيانات التي حُصّلت أثناء حملة عام 2008 (المذكورة في المقطع 2). في هذه البيانات، تُمكن ملاحظة ترابط قوي بين مركبات الزيتون الفينولية (الجدول 9) ومركبات الفينول الكلية عند 280 نانو متر في الجدول 11. ووفقاً لهذه البيانات ولما هو موجود في المنشورات العلمية، يمكن إيجاد ترابط بين القيم الأولية للفينولات المتعدّدة (في الزيتون) والقيم النهائية. والخوارزمية المقترحة للتنبؤ بنسبة الفينولات المتعددة المثوية التي يحتفظ بها زيت الزيتون في أثناء العملية هي حالياً في قيد مزيد من الاستقصاء. ولهذا السبب، فإن المجتمع العلمي مدعو لتقديم بعض المقترحات عن هذا الطور من العملية من أجل تحميل البرمجيات المصمّمة على الإنترنت.

6- آلية التواصل في البرمجيات

طُوّرت واجهة تواصل بيانية نموذجية أولى للمستعمل من أجل إجراء المحاكاة وتقدير موسطات عملية استخراج الزيت. وقد طُوّرت الإصدار الأول من البرمجيات في بيئة ماتلاب، وهو يتألف من واجهة التواصل الرئيسية المبينة في الشكل 35. ووفقاً لما هو مذكور لاحقاً، تتألف هذه الوحدة من عدة أقسام كل منها يُخصّص بيانات معينة، منها: خواص الزيتون، وموسطات المعصرة، وإعداداتها، ومواصفات الزيت أثناء الاستخراج... إلخ.



الشكل 35: واجهة المستعمل البيانية الرئيسية في البرمجيات المطوّرة.

وبتفصيل أكبر، تتألف واجهة التواصل البيانية الرئيسية للمستعمل من الأقسام الآتية:

متحكّم أكتيف إكس في الكاميرا (uEye ActiveX Controller): يمكن هذا المتحكّم من برمجة وضعية كاميرا USB 2.0 لتحصيل الصور. وبعد البرمجة، توافر الكاميرا صوراً بالزمن الحقيقي لكل دفعة زيتون سوف تُعالج. والكاميرا المستعملة هي كاميرا عالية الميز من الطراز uEye UI-1480، وهي تعمل وفقاً للمقياس (1920×2560 بكسل² QSXGA، إضافة إلى أنها مزوّدة بمجس سيموس قطره 1/2 إنش، وتعمل بمعدل أطر يساوي 6 أطر في الثانية. وهي مثبتة جيداً على حامل ومتوضّعة فوق آلة إزالة أوراق الزيتون وغسيله. والبصريات المستعملة فيها هي عدسة من الطراز (Tuss Vision LV0814) يساوي بعدها المحرقي 8 ملّيمتر، وفتحتها متغيّرة بين 1 و1.4 ملّيمتر، وفتحتها الزاوية تساوي 56.5 درجة (أفقياً) و43.9 درجة (عمودياً). وهي توصل مع الحاسوب الشخصي بواسطة وصلة USB 2.0. وأثناء غسل الزيتون، تستطيع الكاميرا التقاط 6 أطر في الثانية.

زرّ التقييم الآلي لخصائص الزيتون (Automatic Evaluation of Olives Characteristics Button): يمكن هذا الزر من التقييم الآلي للموسمات المتعلقة بنضج الزيتون وسلامته، وفقاً لما ذكر في المقطع 2، ومن قياس درجة الحرارة الوسطية لماء الغسيل والزيتون.



الشكل 36: متحكّم أكتيف إكس في الكاميرا uEye.

بيانات الدخل الخاصة بجودة الزيتون (Olive Quality Input Data): في بعض الحالات الخاصة، قد يرغب المستعمل في برمجة متوسط جودة الزيتون يدوياً (على أساس خبرته). وفي هذه الحالة يمكنه استعمال قناع عندما لا يكون من الممكن توفير التقييم الآلي. في الشكلين 37 و38، ثمة مثال لإدخال بيانات في القناع. يُضاف إلى ذلك أن على المستعمل برمجة درجة الحرارة عند بدء العملية للزيتون والماء المستعمل أثناء عملية غسل الزيتون، وفقاً للمبين في الشكل 39. كتلة دفعة الزيتون: على المستعمل أن يدخل يدوياً كتلة الزيتون التي سوف تُعالج بالمعصرة في دورة إنتاج كاملة. والقيمة الافتراضية هي 300 كيلو غرام. ظروف تخزين الزيتون: وفقاً لما ذكر سابقاً، يتعلق التقدير الدقيق لخصائص جودة زيت الزيتون في المحاكاة الموثوقة لمعصرة الزيتون بحالة المادة الخام. لذا على المستعمل

إدخال ظروف تخزين الزيتون. وفي الإصدار الأول من برمجيات المحاكاة، يمكن تحقيق ثلاث حالات مختلفة فقط هي (الشكل 40):

- زيتون يُعالج في غضون 24 ساعة من وقت الجني: وهذه أفضل حالة لمعالجة الزيتون بغية درء الإفراط في نضجه.
- زيتون يبقى في صناديق مُهوّاة مدة يوم واحد أو أكثر: عندما لا تكون معالجة الزيتون ممكنة في غضون 24 ساعة، فإن أفضل حلّ هو إبقاؤه في صناديق مُهوّاة من أجل درء النضج المفرط وتكوّن العفن.
- زيتون مخزون في أكياس مدة يوم أو أكثر: هذه أسوأ حالة لتخزين الزيتون بسبب تسارع النضج وتكوّن العفن.

الشكل 37: اختيار يدوي (من قبل المستعمل) لمحصول من الزيتون وجودته.

الشكل 38: اختيار يدوي (من قبل المستعمل) لحالة الزيتون الصحية.

الشكل 39: درجة حرارة الزيتون في الدخل ودرجة حرارة ماء الغسيل.

الشكل 40: إعدادات خزن الزيتون [المدخلات اليدوية].

مدة المعالجة: وفقاً لما ذكر في المقطع 2، يُري التحليل التجريبي الذي أُجري أثناء فترة الجني أن الجودة العامة لزيت الزيتون تعتمد كثيراً على مدة المعالجة. لذا تسمح واجهة التواصل البيانية للمستعمل أن يدخل هذه المدة في النمط اليدوي. وفي إصدار قادم للبرمجيات، سوف تُبرمج هذه المدة آلياً. إن مدة المعالجة على صلة بالظروف المناخية (تغيرات المناخ، والمطر، ودرجات الحرارة... إلخ). لذا تتطلب البرمجيات إدخال مدد المعالجة بدلالة عدد الأيام التي استغرقتها الحملة. في الإصدار الأول من البرمجيات، جُزئت مدة المعالجة إلى خطوات كل منها يتألف من خمسة أيام (الشكل 41).

Processing Period

Indicate how many days the extraction campaign has started

1-5

1-5

6-10

11-15

16-20

21-25

26-30

31-35

36-40

41-45

46-50

51-55

56-60

الشكل 41: إدخال مدة معالجة الزيتون.

خصائص معصرة الزيت: من أجل إجراء تقدير لموسمات جودة الزيت ومحاكاة عملية عصر الزيتون، على المستعمل تقديم بعض البيانات عن آلات المعالجة في المعصرة، وعلى وجه الخصوص وفقاً للمبين في الشكل 42:

- ساحق المعصرة: تسمح البرمجيات باختيار واحد من ثلاثة أنواع من السواحق (التي هي أكثر استعمالاً)، أي القرص أو المطرقة أو الجاروش.
- آلة عجانة المعصرة: من الممكن اختيار عجانة أفقية أو عمودية.

- مستخرج الزيت بالطرد المركزي: استعملت خلال عشر السنوات السابقة تكنولوجيات مختلفة لاستخراج الزيت بالطرد المركزي. ويمكن تصنيف هذه التكنولوجيات في ثلاث مجموعات رئيسية: (1) استخراج عادي ثلاثي الأطوار بالطرد المركزي مع فاصل واحد، و(2) استخراج حديث ثلاثي الأطوار بالطرد المركزي مع فاصلين، و(3) استخراج ثنائي الأطوار بالطرد المركزي مع مرشح.

مدة السحق، ومدة العجن، ودرجة الحرارة الوسطية: يتطلب تقدير جودة زيت الزيتون باستعمال الشبكات العصبونية الصناعية قياس مدتي السحق والعجن (مقدَّرتين بالدقائق) ودرجة الحرارة الوسطية لعملية العجن. وتُدخل هذه البيانات تلقائياً بواسطة البرمجيات المذكورة في المقطع 5. إلا أنه يمكن للمستعمل أن يختار إدخال تلك القيم يدوياً (الشكل 43).

في حالة الاستخراج بالطرد المركزي الثلاثي الأطوار فقط، على المستعمل أن يدخل النسبة المئوية لماء التطرية المستعمل ودرجة حرارته. وأخيراً، تُمكن إدخال درجة حرارة زيت الخرج من قبل المستعمل أو بواسطة برمجيات التحكم. ويجب

قياس درجة الحرارة هذه حينها تكون ثمة حاجة إلى تقدير مستويات الجودة. أما في حالة إجراء المحاكاة، فتُحسب درجة حرارة الخرج بواسطة النموذج الترموديناميكي.

The figure shows four screenshots of the Oli Mill software interface, each displaying a different configuration for the process parameters. The configurations are as follows:

- Top Left:** Crusher Mill: Disk crushing; Malaxing Machine: Horizontal Malaxing; Centrifugal Extractor: Traditional 3-phases centrifugal extraction with separator.
- Top Right:** Crusher Mill: Disk crushing; Malaxing Machine: Horizontal Malaxing; Centrifugal Extractor: Traditional 3-phases centrifugal extraction with separator.
- Bottom Left:** Crusher Mill: Disk crushing; Malaxing Machine: Hammer crushing; Centrifugal Extractor: Traditional 3-phases centrifugal extraction with separator.
- Bottom Right:** Crusher Mill: Disk crushing; Malaxing Machine: Horizontal Malaxing; Centrifugal Extractor: Traditional 3-phases centrifugal extraction with separator.

الشكل 42: إعدادات [مدخلات] معصرة الزيتون: اختيار السحق والعجانة ومستخرج الطرد المركزي.

The figure shows a screenshot of the Oli Mill software interface with the following parameters:

- Crushing:** Duration of crushing (in minutes): 60
- Malaxing:** Duration of Malaxing (in minutes): 60; Average Temperature of Malaxing: 24
- Only for 3-phases centrifugal extractor:** % of dilution water: 0; Temperature (°C) of dilution water: 0
- Final olive oil output temperature (°C):** 24

الشكل 43: إدخال آلي أو يدوي للسحق والعجانة، وإعدادات مستويات اختيارية لحالة مستخرج الطرد المركزي الثلاثي الأطوار. درجة حرارة الزيت النهائية مقدّرة بـ "درجة". مئوية.

محاكاة المعصرة والبيانات اللازمة لها: حينها تكون ثمة حاجة إلى محاكاة معصرة الزيتون، يجب توفير معلومات إضافية للبرمجيات. وعلى وجه الخصوص، على

المستعمل تقديم مزيد من المعلومات عن نوع العجينة (نوع 1 أو 2، وفق المذكور في المقطع 5) وعن استطاعة المصفيّ (بالكيلو واط) ومدة الاستخراج بالترد المركزي (بالدقائق). ويجب أيضاً تقديم النسبة المئوية للماء الذي يُضاف أثناء العجن.

الشكل 44: إعدادات البيانات اللازمة لمحاكاة المعصرة.

1.6 تقدير المتوسطات:

يُري الشكل 45 واجهة تواصل المستعمل البيانية المصممة بواسطة ماتلاب في حالة تشغيل فعلي، أي مع مجموعة كاملة من المتوسطات (الآلية واليدوية). لذا من الممكن الآن إجراء تقدير لموسطات جودة الزيت (عدد البيروكسيد ومستوى الحموضة) على أساس البيانات المحصّلة بواسطة البرمجيات القائمة على الشبكة العصبونية الصناعية المذكورة في المقطع 5. وتُطلق عملية التقدير بالضغط على الزر تقدير المتوسطات (Parameter Estimation).

الشكل 45: واجهة تواصل المستعمل البيانية الرئيسية في حالة تشغيل فعلي.

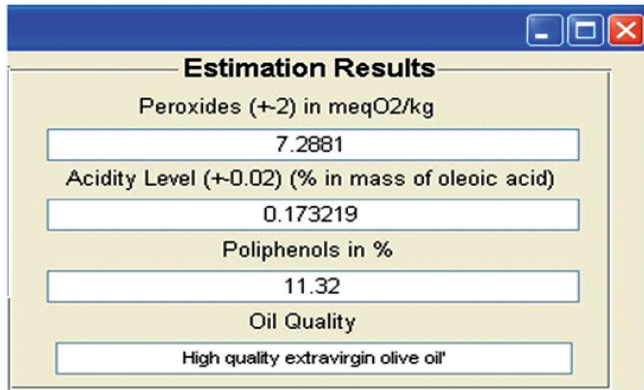
ونتائج التقدير مبيّنة في المنطقة اليمنى العليا من واجهة تواصل المستعمل البيانية، وهي موضّحة في الشكل 46. ووفقاً لما تُمكن ملاحظته، لا تسمح التقديرات، في الإصدار الأول من البرمجيات، بإعطاء قيمة مطلقة لفينولات الزيت. وهذا عائد إلى حقيقة أن

البرمجيات القائمة على الشبكة العصبونية ليست قادرة على إعطاء تقدير موثوق للموسط على أساس البيانات التجريبية المحصّلة قبل تصميم البرمجيات. وعلى النقيض من ذلك، تسمح البيانات التجريبية بتقدير النسبة المئوية للفينولات المتعددة (p_{est}) المتبقية في زيت الزيتون بعد الاستخراج، أي نسبة محتوى الزيت منها (p_{out}) إلى ذلك الموجود في الزيتون قبل الاستخراج (p_{in})، وفقاً لما تنصّ عليه المعادلة الآتية:

$$p_{est} = \frac{p_{out}}{p_{in}} \quad (43)$$

2.6 محاكاة معصرة الزيتون

عندما يرغب المستعمل في معرفة الخصائص الترموديناميكية السوائلية لمعصرة الزيتون، وفي تقدير مستويات جودة زيت الزيتون على أساس تلك الخصائص، يمكنه الضغط على الزر الوظيفي «محاكاة زيت المعصرة» (Oil Mill Simulation). وتظهر نتائج المحاكاة الترموديناميكية السوائلية في المقطع المسمى «نتائج المحاكاة» (Simulation Results) تبعاً لنوع المستخرج بالطرد المركزي. وتبيّن الأشكال الآتية نتائج المستخرج العادي بالطرد المركزي الثلاثي الأطوار، والمستخرج الحديث الثلاثي الأطوار ذي الفاصلين، والمستخرج بالطرد المركزي الثنائي الأطوار. وعلى وجه الخصوص، يُري الشكل 47 محاكاة لعملية استخراج جرت بواسطة المستخرج العادي بالطرد المركزي الثلاثي الأطوار مع فاصل (ومع إدخال جميع درجات الحرارة المذكورة سابقاً). إن برمجيات المحاكاة تعطي تقديراً موثقاً لكتلة وتدقّ الزيت والماء في خرج العجانة (مقدّرَين بالكيلو غرام والكيلو غرام بالدقيقة)، وكتلة وتدقّ الثفل في الخرج، ودرجة حرارة مزيج الزيت والماء والثفل في الخرج (بالدرجة المئوية).



الشكل 46: نتائج التقدير.

ويُبيّن الشكل 48 نتائج المحاكاة في حالة مُستخرج حديث ثلاثي الأطوار. ووفقاً لما هو معروف، يقوم الفاصلان في هذه الحالة بفصل أعلى كفاءة للماء عن الزيت، ولذا فإن البرمجيات لا تُقدّر المتوسطات ذات الصلة بمزيج الزيت والماء، بل تُقدّر كتلة وتدفق ماء الخرج المفصول المحتوي على آثار من الزيت، وكتلة وتدفق زيت الزيتون المفصول في الخرج المحتوي على آثار من الماء. ويُري الشكل 49 مثلاً لمحاكاة العملية الثنائية الطور. إن هذه العملية مزوّدة بمرشح نهائي لفصل الزيت عن الماء، ولذا تُعطي المحاكاة تقديراً لكتلة وتدفق الزيت، وكتلة وتدفق الثفل، ودرجة حرارة الزيت والثفل.

وفي المنطقة المركزية اليمنى من واجهة تواصل المستعمل البيانية المبيّنة في الشكل 50، تُمكن رؤية نتائج محاكاة المعصرة الخاصة بمحتوى الزيت من البيروكسيدات والفينولات المتعددة وحموضته. ومن الواضح أن نتائج المحاكاة قريبة جداً من نتائج التقدير إذا كانت موسطات الدخل هي نفسها.

Malaxing Machine			Simulation Results	
Horizontal Malaxing			Traditional 3-phases process	
Centrifugal Extractor			Output oil-water malaxing mass (Kg)	184.47
Traditional 3-phases centrifugal extraction with separator			Output oil-water malaxing flow (kg/min)	0.15
			Output pomace mass (kg)	142.25
			Output pomace flow (kg/min)	0.11
			Output oil-water temperature (°C)	26.4
			Output pomace temperature (°C)	25
			Modern 3-phases process	
			Output water (with oil trace) mass (kg)	
			Output water (with oil traces) flow (kg/min)	
			Output oil (with water traces) Temperature (°C)	
			Output water (with traces of oil) Temperature (°C)	
			2-phases process	
			Output olive oil mass (kg)	
			Output olive oil mean flow (kg/min)	
			Output pomace mass (kg)	
			Output pomace flow (kg/min)	
			Output olive oil Temperature (°C)	
			Output pomace temperature (°C)	

Crushing		Malaxing	
Duration of crushing (in minutes)	60	Duration of Malaxing (in minutes)	60
		Average Temperature of Malaxing	24
Only for 3-phases centrifugal extractor			
% of dilution water	5		
Temperature (°C) of dilution water	18		
Final olive oil output temperature (°C)	24		

الشكل 47: محاكاة ترموديناميكية سوائلية لمعصرة الزيتون في حالة المستخرج العادي الثلاثي الأطوار.

Malaxing Machine			Simulation Results	
Horizontal Malaxing			Traditional 3-phases process	
Centrifugal Extractor			Output oil-water malaxing mass (Kg)	81.73
Modern 3-phases centrifugal extraction with 2 separators			Output oil-water malaxing flow (kg/min)	0.06
			Output pomace mass (kg)	142.25
			Output pomace flow (kg/min)	0.11
			Output oil-water temperature (°C)	
			Output pomace temperature (°C)	25
			Modern 3-phases process	
			Output water (with oil trace) mass (kg)	102.74
			Output water (with oil traces) flow (kg/min)	0.08
			Output oil (with water traces) Temperature (°C)	27.4
			Output water (with traces of oil) Temperature (°C)	26
			2-phases process	
			Output olive oil mass (kg)	
			Output olive oil mean flow (kg/min)	
			Output pomace mass (kg)	
			Output pomace flow (kg/min)	
			Output olive oil Temperature (°C)	
			Output pomace temperature (°C)	

Crushing		Malaxing	
Duration of crushing (in minutes)	60	Duration of Malaxing (in minutes)	60
		Average Temperature of Malaxing	24

Only for 3-phases centrifugal extractor	
% of dilution water	5
Temperature (°C) of dilution water	18
Final olive oil output temperature (°C)	24

الشكل 48: محاكاة ترموديناميكية سوائية لمعصرة الزيتون في حالة المستخرج الحديث الثلاثي الأطوار.

Malaxing Machine			Simulation Results	
Horizontal Malaxing			Traditional 3-phases process	
Centrifugal Extractor			Output oil-water malaxing mass (Kg)	
2-phases centrifugal extraction with filter			Output oil-water malaxing flow (kg/min)	
			Output pomace mass (kg)	
			Output pomace flow (kg/min)	
			Output oil-water temperature (°C)	
			Output pomace temperature (°C)	
			Modern 3-phases process	
			Output water (with oil trace) mass (kg)	
			Output water (with oil traces) flow (kg/min)	
			Output oil (with water traces) Temperature (°C)	
			Output water (with traces of oil) Temperature (°C)	
			2-phases process	
			Output olive oil mass (kg)	81.82
			Output olive oil mean flow (kg/min)	0.06
			Output pomace mass (kg)	229.89
			Output pomace flow (kg/min)	0.18
			Output olive oil Temperature (°C)	26
			Output pomace temperature (°C)	26

Crushing		Malaxing	
Duration of crushing (in minutes)	60	Duration of Malaxing (in minutes)	60
		Average Temperature of Malaxing	24

Only for 3-phases centrifugal extractor	
% of dilution water	5
Temperature (°C) of dilution water	18
Final olive oil output temperature (°C)	24

الشكل 49: محاكاة ترموديناميكية سوائية للمعصرة في حالة العملية الثنائية الأطوار.

3.6 التحليل العام

من أجل الحصول على تحليل نهائي مثقل للمعصرة، أنشئ زرّ يسمى «التحليل العام» (Global Analysis). ويُسْغَل هذا الزر لدى كبسه برنامجاً بسيطاً لتقدير نتيجة

مثقلة للبيروكسيدات (P) والمحتوى من الحموضة (A) والفينولات المتعددة (%pe):

$$P = \alpha_p \cdot p_{est} + \beta_p \cdot p_{sim} \quad (44)$$

$$A = \alpha_a \cdot a_{est} + \beta_a \cdot a_{sim} \quad (45)$$

$$\%pe = \alpha_{pe} \cdot pe_{est} + \beta_{pe} \cdot pe_{sim} \quad (46)$$

أخيراً، يمكن رسم منحنيات بيانية للقيم المقدرة لمحتويات الزيتون من الزيت والسكر والفينولات المتعددة بواسطة زر التحليل العام (Global Analysis) (انظر الشكل 51). وتُحسب هذه القيم وفقاً للمذكور في المقطع 5.

نتائج

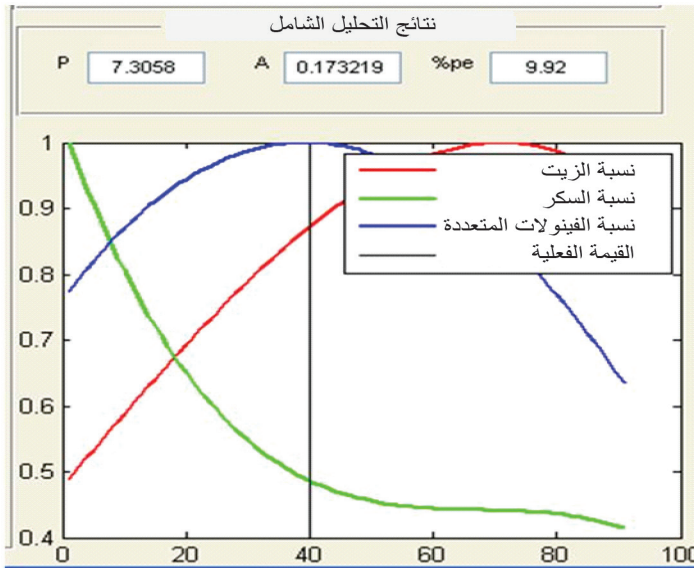
وفقاً لما ذكر سابقاً، تُمكن المنظومة المصممة من قياس موسطات العملية على طول خط الإنتاج، ومحاكاة المعصرة وتقدير جودة زيت الزيتون. وقبل تقديم بعض نتائج المنظومة المطورة، قد يكون من المفيد (ومن الأوضح للقارئ) السير مع تسلسل الشكل 52 مع أخذ دفعة زيتون مثلاً. لنأخذ الدفعة «05432/2008». تتألف هذه الدفعة من 300 كيلو غرام من زيتون المحصول Frantoio المقطوف يدوياً. وقد جُمعت الدفعة في 15 تشرين الأول/ أكتوبر عام 2008 ووُضعت في صندوق مفتوح مدة 12 ساعة قبل عصرها. ويُري الجدول 23 قيم محتوى دفعة الزيتون من السكر والزيت ومركبات الفينول في طور الفرز.

الجدول 23: النتائج الكيميائية لدفعة الزيتون 60021.

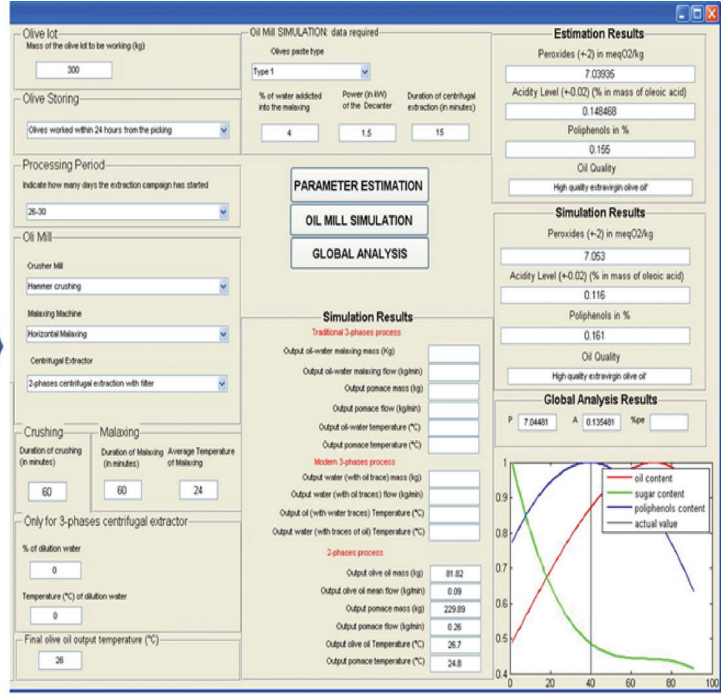
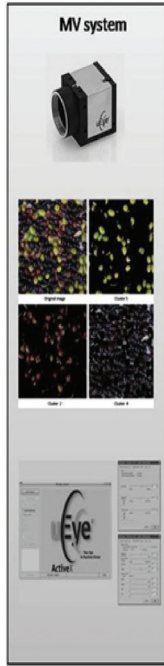
الزيت (مغ/كغ) من القشرة واللبن (الجافين)	السكر (غ/كغ) من القشرة واللبن (الجافين)	مركبات الفينول (مغ/كغ من القشرة واللبن الجافين)	دفعة الزيتون
580	73.52	24441	2008/05432

Estimation Results	
Peroxides (+2) in meqO2/kg	7.29247
Acidity Level (+0.02) (% in mass of oleic acid)	0.173219
Poliphenols in %	9.92
Oil Quality	High quality extravirgin olive oil
Simulation Results	
Peroxides (+2) in meqO2/kg	7.33234
A) Poliphenols in %	0.173251
Acidity Level (+0.02) (% in mass of oleic acid)	9.93
Oil Quality	High quality extravirgin olive oil

الشكل 50: مقارنة بين نتائج التقدير ونتائج المحاكاة.



الشكل 51: مثال للنتائج التي تم الحصول عليها بواسطة التحليل الشامل.



الشكل 52: تقدير النتائج.

ثم تُغسل دفعة الزيتون، التي تقاس درجة حرارتها بواسطة مزدوجة حرارية ضمن آلة الغسيل (بماء درجة حرارته 17°C) وتُنزع الأوراق منها. وقد التُقطت بعض الصور للدفعة بواسطة كاميرا منظومة الرؤية الآلية المذكورة في المقتعين 2 و4، ثم جرت معالجتها. ويتضمن الجدول 24 نتائج خوارزمية معالجة الصورة.

الجدول 24: نتائج خوارزمية معالجة الصورة.

T _D	P _D	S ₀	G ₀	B ₀	B _{po}	دفعة الزيتون
0.16	0.32	0.54	12.40	28.17	12.34	2008/05432

قبل بدء عملية الاستخراج، يستطيع مشغلّ المعصرة الآن إعدادها بواسطة البرمجيات المطوّرة، ويمكنه حساب تقديراتها وإجراء محاكاة لها. ووفقاً للمبيّن في الشكل 52، نتائج التقدير هي:

$$P_{est} = 7.039 [meqO_2/kg]$$

$$a_{est} = 0.148 \text{ [% in mass of oleic acid]}$$

$$Pe_{est} = 0.155 \text{ [% of polyphenols/value of polyphenols in olives]}$$

أما نتائج المحاكاة فهي الآتية:

- كتلة زيت الزيتون في الخرج: 81.82 كغ.
- التدفق الوسطي للزيت في الخرج: 0.09 كغ/ دقيقة.
- كتلة الثفل في الخرج: 229.89 كغ.
- تدفق الثفل في الخرج: 0.26 كغ/ دقيقة.
- درجة حرارة الثفل في الخرج: 24.8°C.
- درجة حرارة الزيت في الخرج: 26.7°C.

$$P_{sim} = 7.053 \text{ [meqO}_2\text{/kg]}$$

$$a_{sim} = 0.135 \text{ [% in mass of oleic acid]}$$

$$Pe_{sim} = 0.161 \text{ [% of polyphenols/value of polyphenols in olives]}$$

ونائج التحليل العام هي:

$$P_s = 7.044 \text{ [meqO}_2\text{/kg]}$$

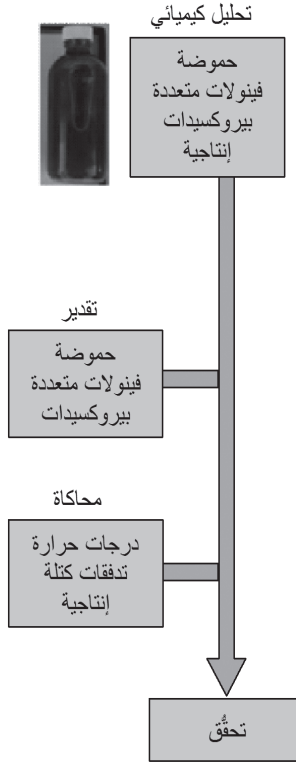
$$A_s = 0.148 \text{ [% in mass of oleic acid]}$$

$$\%pes = 0.158 \text{ [% of polyphenols/value of polyphenols in olives]}$$

ومن الممكن مقارنة هذه النتائج بتلك التي تم الحصول عليها بالتحليل الكيميائي (الجدول 25 والشكل 53).

الجدول 25: نتائج التحليل الكيميائي في مقابل خرج البرمجيات.

نتائج التحليل الكيميائي					
دفعه الزيتون	As	Ps	pes %	الإنتاجية	درجة حرارة زيت الزيتون في الخرج
2008/5432	0.01±0.15	5±2	0.18	% 21	26°C
نتائج البرمجيات					
دفعه الزيتون	A	Np	Npe	الإنتاجية	درجة حرارة زيت الزيتون في الخرج
2008/5432	0.148	7.044	0.161	% 27.27	26.7°C
مقارنة (نسبة الخطأ المثوية) بين التحليل الكيميائي (متمركز حول القيمة الوسطية) وخرج البرمجيات					
2008/5432	% 4.72	% 14	% 11	% 22	% 2.7



الشكل 53: تسلسل العملية.

إن الأخطاء كبيرة في ما يخص التنبؤ بالإنتاجية، إلا أنها موثوقة جداً بالنسبة إلى المتوسطات الأخرى. على سبيل المثال، إذا وُضعت مدة العجن 70 دقيقة بدلاً من 60 دقيقة، تغيرت نتائج التحليل الشامل على النحو الآتي:

$$P_s = 8.21 \text{ [meqO}_2\text{/kg]} \quad -$$

$$A_s = 0.162 \text{ [% in mass of oleic acid]} \quad -$$

$$\%pes = 0.161 \text{ [% of polyphenols/value of polyphenols on olives]}$$

لذا فإن تغيير مدة العجن يؤثر في جودة الزيت المستخرج بطريقة ملموسة. وفي هذا المثال، إذا رُفعت درجة حرارة العجن مثلاً إلى 26°C، كانت جودة زيت الزيتون أفضل:

$$P_s = 6.67 [\text{meqO}_2/\text{kg}] \quad -$$

$$A_s = 0.13 [\% \text{ in mass of oleic acid}] \quad -$$

$$\%pes = 0.162 [\% \text{ of polyphenols / value of polyphenols on olives}] -$$

بكلهات أخرى، بتغيير درجات حرارة الآلات التي تتألف منها المعصرة، من الممكن الوصول إلى أفضل الظروف من أجل دفعة معينة من الزيتون.

الآن، من الممكن تقديم بعض نتائج البرمجيات المصممة بغية مزيد من التحقق من الطريقة. لقد استغرقت إجراءات التحقق من البرمجيات مدة طويلة، وقد جُرئت إلى خطوتين منفصلتين: التحقق والإقرار. في الخطوة الأولى، يجري التحقق من أن خرج البرمجيات يعطي مستوى مقبولاً من الدقة من ناحية عدد البيروكسيد ودرجة الحموضة في عينات لم تُستعمل في أثناء تدريب البرمجيات. أما الخطوة الثانية، فقد طُبقت باستعمال عينات زيت زيتون من عامي 2003 و2006. وأُخذت عينة عام 2003 (الجدول 26) من معصرة ذات مصفٍ ثلاثي الأطوار مع فاصلين نهائيين درجتا حرارتهما منخفضة ((“Santa Tea” Oil Mill in Reggello (Florence)). وأُخذت عينة عام 2006 من معصرة ذات مصفٍ ثنائي التدفق من دون فاصل نهائي (“Torre Bianca” Oil Mill in San Casciano in Val di Pesa (Florence)).

ويقارن الجدولان 27 و28 عينات من قاعدة البيانات مع خرج البرمجيات الخاص بطوري التحقق والإقرار المذكورين آنفاً، ويُريان كيف أن خرج البرمجيات متناسق، وذلك وفقاً لما هو واضح من القيمة الوسطية، سواء في عملية التحقق أم الإقرار. تُحدد البرمجيات مجال الثقة في قيمة عدد بيروكسيد الزيت في المخبر لكل عينة، وفقاً لما تبيّنه نتائج التحليل الكيميائي (انظر الشكل 54). وفيما يخصّ خرج الحموضة، كان أداء البرمجيات جيداً: مقارنة بالقيمة المركزية لمجال الثقة في المخبر، يُري خرج البرمجيات توزعاً للأخطاء يؤكّد كفاءة الطريقة (انظر الشكلين 55 و56).

الجدول 26: تجربة منقّدة لاختبار البرمجيات.

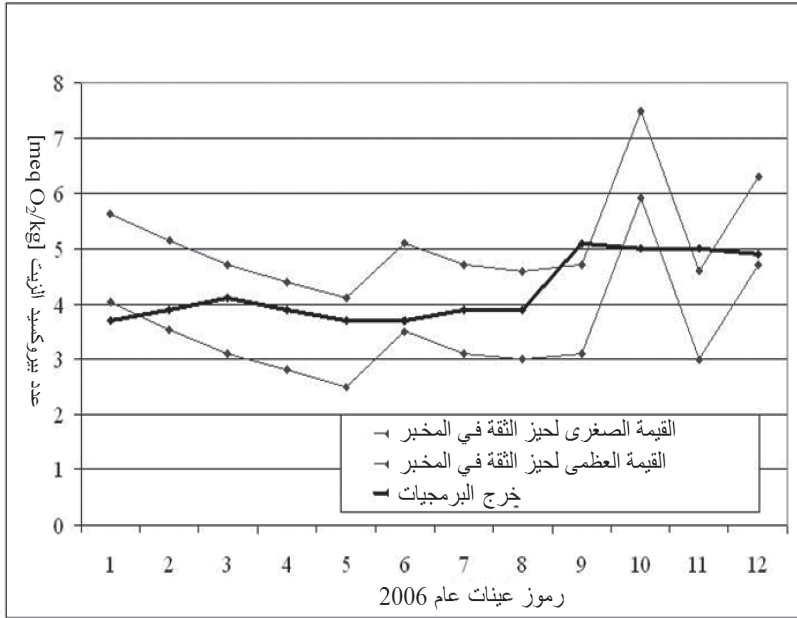
الزيتون	مستوى النضج	أخضر %	6		
		نضج متالي %	24		
		نضج متقدم %	74		
	الحالة الفيزيائية	سليم %	0		
		متضرّر جزئياً %	100		
		متضرّر كلياً %	0		
كتلة الدفعة (كيلو غرام)		1000			
الموسمات العملية	ظروف التخزين		10 أيام عند حرارة المحيط		
	درجة حرارة خزن الزيتون (كلفن)		292		
	مرحلة السحق	نوع ساحق المعصرة	قرص		
		المدة (ثانية)	2100		
		درجة حرارة عجينة الخرج (كلفن)	297-296		
	نوع العجينة		النوع 1		
	الماء المضاف إلى العجينة %		0		
	مرحلة العجن	نوع آلة العجن		محور أفقي	
		المدة (ثانية)		2700	
		درجة حرارة العجينة الوسطية (كلفن)		298	
		درجة حرارة عجينة الخرج (كلفن)		298	
	الاستخراج	ماء التطرية (دسم ³ /ثانية)		0.067	
		المدة (ثانية)		2000	
	مصفاي الـ alfa laval uvnx	ماء التطرية (دسم ³)		128	
		ماء التطرية (كغ/دسم ³)		0.128	
	25 حصان	درجة حرارة ماء التطرية (كلفن)		291	
		استطاعة المصفاي (كيلو واط)		18.75	
	دورة/ثانية	النوع		3 أطوار	
		درجة حرارة عجينة الدخل (كلفن)		298	
		خرج المصفاي	درجة حرارة الزيت (مع آثار ماء) (كلفن)		304.5
			درجة حرارة الماء (مع آثار زيت) (كلفن)		304
	الفصل	عدد الفواصل		2	
		المدة (ثانية)		1800	
	فاصلان 7.5 حصان	درجة حرارة زيت الدخل (مع آثار ماء) (كلفن)		304.5	
		درجة حرارة زيت الخرج (كلفن)		302	
	6400 دورة/ثانية	درجة حرارة ماء الدخل (مع آثار زيت) (كلفن)		304	
		درجة حرارة ماء الخرج (كلفن)		295.5	
	المجموع	درجة حرارة زيت الدخل (كلفن)		292	
		أعلى درجة حرارة في الدورة (كلفن)		304.5	
	تحليل الزيت	الحموضة [% كتلة حمض الأوليك]		0.27±0.02	
		عدد البيروكسيد/ كغ [meq O ₂]		4.8±0.8	
		فينولات متعددة mg/kg من حمض الغاليك]		856±4	
		توكوفيرولات [مغ/ كغ]		255±10	

الجدول 27: مقارنة عينات قاعدة البيانات بنتائج البرمجيات (تحقق).

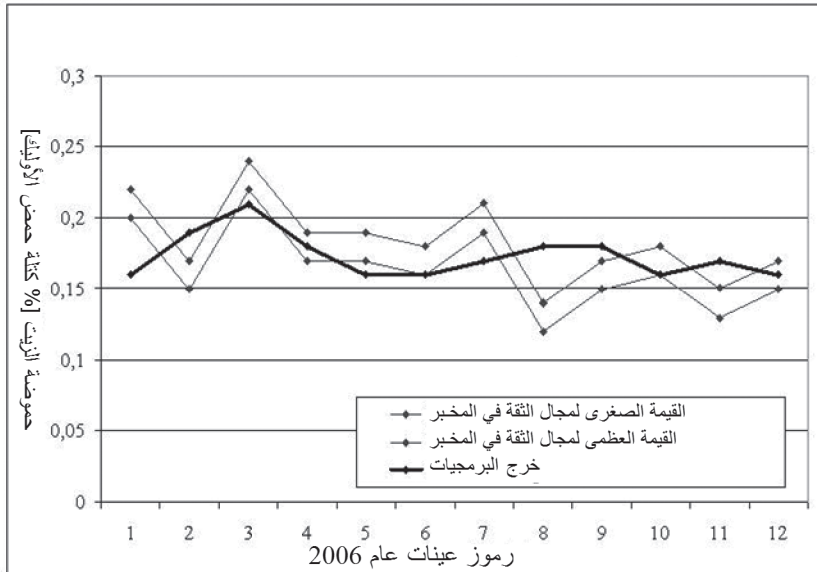
الحموضة (A vs. As) [mass % oleic acid]		عدد البيروكسيد (Np vs. Ps) [meq O ₂ /kg]		
خرج البرمجيات	نتائج التحليل [6]	خرج البرمجيات	نتائج التحليل [6]	رقم العينة
0.18	0.01±0.18	6.0	2±6	00f04o1_12
0.22	0.21±0.01	7.5	7±2	00f04v1_12
0.24	0.23±0.01	6.2	6±2	00f04v2_12
0.16	0.17±0.01	5.4	6±2	00f10o1_12
0.2	0.19±0.01	5.7	7±2	00f10v1_12
0.23	0.21±0.01	6.8	6±2	00f10v2_12
0.19	0.17±0.01	6.4	5±2	00f17o1_12
0.27	0.21±0.01	6.6	5±2	00f17v1_12
0.26	0.22±0.01	6.2	5±2	00f17v2_12
0.21	0.22±0.01	6.4	6±2	00f24o1_12
0.27	0.28±0.01	6.2	6±2	00f24v1_12
0.24	0.23±0.01	5.9	5±2	00f24v2_12
0.15	0.17±0.01	3.6	4±2	01f03o1_12
0.11	0.14±0.01	5.1	5±2	01f17o1_12
0.16	0.13±0.01	7.0	8±2	01f17v1_12
0.15	0.20±0.01	1.9	2±2	01f24o1_12
0.18	0.18±0.01	4.0	4±2	02f09o1_12
0.25	0.25±0.01	5.1	4±2	02f09v1_12
0.19	0.15±0.01	4.3	4±2	02f20o1_12
0.26	0.28±0.01	4.8	4±2	02f20v1_12
0.21	0.20	5.2	5.6±2	الوسطي

الجدول 28: مقارنة عينات الإقرار (التحليل الكيميائي) بخرج البرمجيات.

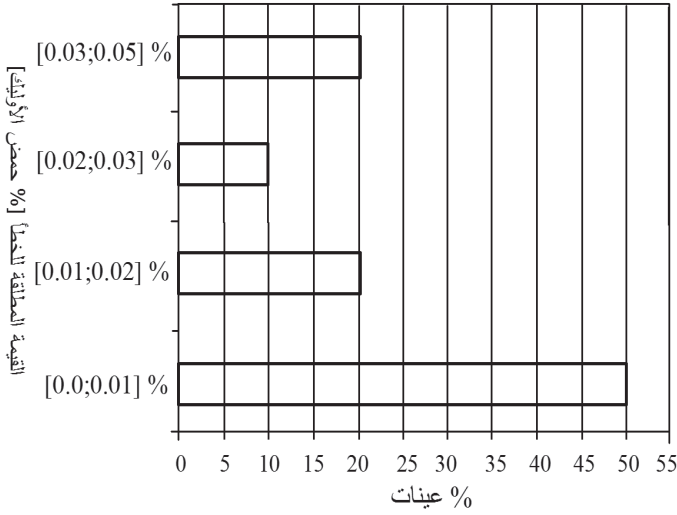
الحموضة (A vs. As) [mass % oleic acid]		عدد البيروكسيد (Np vs. Ps) [meq O ₂ / kg]		
خرج البرمجيات	نتائج التحليل [6]	خرج البرمجيات	نتائج التحليل [6]	رقم العينة
0.26	0.02±0.27	4.82	0.8±4.8	2003_ST_01
0.16	0.21±0.01	3.71	4.8±0.8	2006_TB_09
0.19	0.16±0.01	3.91	4.3±0.8	2006_TB_12
0.21	0.23±0.01	4.13	3.9±0.8	2006_TB_20
0.18	0.18±0.01	3.93	3.6±0.8	2006_TB_21
0.16	0.18±0.01	3.74	3.3±0.8	2006_TB_22/1
0.16	0.17±0.01	3.73	4.3±0.8	2006_TB_22/2
0.17	0.20±0.01	3.91	3.9±0.8	2006_TB_25
0.18	0.13±0.01	3.96	3.8±0.8	2006_TB_40
0.18	0.16±0.01	5.12	3.9±0.8	2006_TB_50
0.16	0.17±0.01	5.05	6.7±0.8	2006_TB_60
0.17	0.14±0.01	5.08	3.8±0.8	2006_TB_70
0.16	0.16±0.01	4.91	5.5±0.8	2006_TB_75
0.18	0.18	4.32	4.4	الوسطي



الشكل 54: مقارنة عدد بيروكسيد الزيت بين خرج البرمجيات وعينات عام 2006 (إقرار).



الشكل 55: مقارنة حموضة الزيت بين خرج البرمجيات وعينات عام 2006 (إقرار).



الشكل 56: توزع خطأ تقدير حموضة الزيت في البرمجيات (تحقق).

يساوي الخطأ الوسطي بين خرج الشبكة العصبونية الصناعية والقيم المقاسة لموسطي الجودة نحو 6% في مستوى الحموضة و5% في عدد البيروكسيد. والخطأ الأعظمي في هذه الطريقة يساوي نحو 15% في عدد البيروكسيد ونحو 16% في مستوى الحموضة. ووفقاً لما هو معروف، يساوي خطأ القياس في التحليل الكيميائي القياسي نحو 5% لعدد البيروكسيد، و0.01% في مستوى الحموضة. حتى لو كانت نتائج التقدير مختلفة اختلافاً بيناً عن نتائج التحليل الكيميائي، فإنه يمكن اعتبار تقدير موسطي الجودة فرصة جيدة للحصول على فكرة سريعة موثوقة عن جودة الزيت من دون إجراء التحليل الكيميائي المنصوص عليه في المعيار Reg. CE 796/2002 و Reg. CE 1513/2001 و 2568/91.

أعمال مقترحة للمستقبل

وفقاً لما ذكر في المقطع 5، سوف نقوم بأعمال مستقبلية من أجل تحقيق فهم أفضل لتأثير عملية عصر الزيتون في المركبات الفينولية في زيت الزيتون، ولتطوير برمجيات أكثر دقة ووثوقية تستطيع تقدير المركبات الفينولية في زيت الزيتون بمعرفة الفينولات المتعددة في الزيتون، ودرجة نضجه وسلامته. وسوف يمكن هذا التقدير من توصيف أفضل لزيت الزيتون، ويمكن استعمال المركبات الفينولية لتعريف

مؤشر لجودة الزيت يصفها وصفاً أفضل (وفقاً للمذكور في [62-64]). وتقوم هذه الفرضية على اعتبار أن المركبات المضادة للأكسدة تنطوي على ثلاثة مفاعيل: (1) تأخير عملية أكسدة مركبات الدُّسَم، و(2) توفير مزايا قوية للمستهلك مضادة للأكسدة، و(3) التأثير في الخصائص الحسية لزيت الزيتون من ناحية الطعم المرّ وذي النكهة التوابلية. وأكثر من ذلك، إن أعمالاً أخيرة بيّنت أن التغييرات التقنية في عملية استخراج الزيت، مثل درجات الحرارة والتعرُّض إلى الأكسجين الجوي، تؤثر في محتوى الزيت من الفينول [62، 64]. والمهمة الأخرى التي سوف تُتجز في المستقبل هي تطوير خوازميات معالجة صورة أكثر كفاءة في كشف العيوب السطحية في الزيتون، واستعمال منظومات تحصيل صور قائمة على الأشعة تحت الحمراء والضوء فوق البنفسجي بغية توصيف الزيتون، وتحليل الزيت المستخرج والمرشح بطرائق بصرية. لقد جرى في العمل الحالي تقييم درجة نضج الزيتون بطرائق معالجة الصورة. وفي تطوير مستقبلي لهذا العمل، سوف تُقاس درجة النضج أيضاً بمساعدة التحليل الكيميائي للزيتون قبل جنيهه. وفي الحملة التجريبية المذكورة في المقطع 2، جرى تحصيل بعض البيانات التجريبية عن نضج الزيتون. وعلى وجه الخصوص، في ما يخص الفترة في ما بين شهري أيلول/ سبتمبر وكانون الأول/ ديسمبر، جُمع بعض المتوسطات المرتبطة بالعملية الحيوية الكيميائية لنضج الزيتون. وبرأي مؤلّفي هذا العمل، تُعتبر محتويات الزيتون من السكر والزيت والفينول هي متوسطات سوف تمكّن من نمذجة ومحاكاة أفضل لجودة الزيت بالطرائق البرمجية. ويدعم هذا الرأي الدليل بأن تطوّر محتويات الزيتون الكيميائية من المفترض أن يكون مؤشراً موضوعياً على نضج الزيتون [65-68]. فثمة العديد من العمليات الحيوية الكيميائية التي تحصل في الجني: ظهور مركبات السكر في الزيت المحتوى في الزيتون، والتخلّل الحيوي الكيميائي لمركبات الفينول فيه. لذا فإنّ فهماً أفضل لهذه العملية سوف يوفّر معرفة أكثر دقة لعملية استخراج الزيت.

خلاصة

وصف الفصل الحالي تطوير عملية استخراج زيت الزيتون مبتكرة منخفضة الأكسدة تتميزّ بسلسلة من أدوات التحكم الآلي (مجسّات ومنظومات رؤية آلية... إلخ) لعدة متوسطات زراعية وتقنية أثناء أطوار الاستخراج. وتتيح هذه المنظومة عدة إعدادات لعملية الاستخراج من أجل تعديل ديناميكي لخواص جودة زيت

الزيتون المستخرج أثناء عملية الاستخراج. وكان الغرض الرئيسي من هذا الفصل وصف منظومة رؤية آلية قادرة على التقاط صور للزيتون وكشف بعض خواص كل دفعة زيتون تجري معالجتها، وبرمجيات قائمة على شبكة عصبونية صناعية طُوِّرت بغية التحكم في عملية الاستخراج ومحاسباتها. يُضاف إلى ذلك وصف لبعض النتائج المهمة للحملة التجريبية ومقارنتها بآخر ما تُوصَّل إليه. وتمكَّن المنظومة المبتكرة مشغَّل معصرة الزيتون من معرفة جودة زيت الزيتون موضوعياً في الزمن الحقيقي (أي محتواه من البيروكسيدات والفينولات المتعددة ومستوى حموضته... إلخ) من أجل الضبط الفوري للموسطات المؤثرة في تلك الجودة. ويقوم تطوير معصرة الزيتون المبتكرة هذه على نتائج سلسلة من الاختبارات التجريبية التي أجراها المؤلفون على معصرة منخفضة الأكسدة خلال حملة تجريبية دامت 3 سنوات. وتعمل المنظومة فعلياً في معصرة سانتا تي بالقرب من فلورنسا بإيطاليا. ويأمل المؤلفون بأن يُحفِّز العمل الحالي المجتمع العلمي بغية إدخال تحسينات على المنظومة و/ أو مناهجها من أجل الوصول إلى أفضل جودة ممكنة لزيت الزيتون واقتراح حلول بديلة أو تقديم توصيات نقدية لتحسين المشروع (ولم لا؟).

كلمة شكر

يرغب المؤلفون تقديم شكرهم إلى مؤسسة أرسياتوسكانا (ARSIA) (TOSCANA) التي قدّمت دعمها الاقتصادي لإتمام المشروع الذي دام ثلاث سنوات، وبذلك مكّنت من تحقيق جميع النتائج التي جرى تقديمها. ونقدم شكرنا أيضاً إلى بلدية توسكانا وإلى جميع الأشخاص الذين ساهموا في المشروع، وإلى المجتمع العلمي الذي سوف يقدّم في المستقبل مقترحات مهمة، وإلى العاملين في معصرة الزيتون الذين تعاونوا معنا.

لائحة الرموز

حموضة الزيت المقيسة [كتلة حمض الأوليك] (عديمة الوحدات).	A
الحموضة المقدّرة [كتلة حمض الأوليك].	a_{est}
حموضة التحليل الشامل [كتلة حمض الأوليك].	As
الحموضة المُحاكاة [كتلة حمض الأوليك].	a_{sim}

النسبة المئوية للزيتون المتوسط النضج في الدفعة (عديمة الوحدات).	B_0, B'_0
النسبة المئوية للزيتون المتقدم النضج في الدفعة (عديمة الوحدات).	$B_{po}, B'_{po}, B''_{po}$
عامل تأثير نضج الزيتون في عدد البيروكسيد (عديم الوحدات).	c_{gm_Np}
عامل تأثير نضج الزيتون في الحموضة (عديمة الوحدات).	c_{gm_A}
عامل تأثير نضج الزيتون في عدد البيروكسيد (عديمة الوحدات).	c_{ss_Np}
عامل تأثير نضج الزيتون في الحموضة (عديمة الوحدات).	c_{ss_A}
عامل تأثير درجة حرارة الزيت العظمى في الحموضة (عديمة الوحدات).	$c_{Tol_us_A}$
عامل تأثير درجة حرارة الزيت العظمى في عدد البيروكسيد (عديمة الوحدات).	$c_{Tol_us_Np}$
الحرارة النوعية للعجينة من النوع 1 [kJ/kgK].	c_1
الحرارة النوعية للعجينة من النوع 2 [kJ/kgK].	c_2
الحرارة النوعية لماء التطرية في دخل المصفي [kJ/kgK].	c_{a_in}
الحرارة النوعية لماء التطرية في خرج المصفي (مع آثار ماء) [kJ/kgK].	c_{a_us}
الحرارة النوعية للزيت [kJ/kgK].	c_{ol}
الحرارة النوعية للماء [kJ/kgK].	c_{aq}
الحرارة النوعية لكتلة الزيتون الجاف [kJ/kgK].	c_{sec}
الحرارة النوعية لزيت خرج المصفي (مع آثار ماء) [kJ/kgK].	c_{ol_us}
الحرارة النوعية للثفل في دخل المصفي [kJ/kgK].	c_{sa}
الحرارة النوعية لمعجونة الزيتون في دخل المصفي [kJ/kgK].	c_{pa_in}
درجة حرارة العجن الوسطية لعجينة الزيتون [كلفن].	C_{gram}

عامل تأثير درجة حرارة الزيتون عند بداية العملية في حموضة الزيت [كلفن].	coef_A
النسبة المئوية للزيتون الأخضر في الدفعة (عديمة الوحدات).	G ₀
النسبة المئوية لماء التطرية في المصفي.	%H ₂ O
تدفق ماء التطرية في مدخل المصفي [كغ / ثانية].	m _{a_in}
تدفق ماء التطرية في خرج المصفي (مع آثار ماء) [كغ / ثانية].	m _{a_us}
تدفق الزيت في مدخل المصفي [كغ / ثانية].	m _{ol_in}
تدفق الزيت في خرج المصفي (مع آثار ماء) [كغ / ثانية].	m _{ol_us}
كتلة دفعة الزيتون [كغ].	m _{olive}
تدفق عجينة الزيتون في مدخل المصفي [كغ / ثانية].	m _{pa_in}
تدفق الثفل في خرج المصفي [كغ / ثانية].	m _{sa}
تدفق الكتلة الجافة في مدخل المصفي [كغ / ثانية].	m _{sec}
عدد البيروكسيدات المقيسة [meq O ₂ / كغ].	N _p
عدد الفينولات المتعددة المقيسة [% الفينولات / الفينولات في الزيت].	N _{pe}
استطاعة المصفي الوسطية [كيلواط].	P
النسبة المئوية للزيتون المتضرر جزئياً في الدفعة (عديمة الوحدة).	P _D
الفينولات المتعددة المقدرة [% الفينولات / الفينولات في الزيت].	P _{e_{est}}
الفينولات المتعددة في التحليل العام [% الفينولات / الفينولات في الزيت].	%p _{es}
الفينولات المتعددة في المحاكاة [% الفينولات / الفينولات في الزيت].	P _{e_{sim}}
فينولات متعددة [مغ / كغ]	P _{lp}
البيروكسيدات المقدرة [meq O ₂ / كغ]	P _{est}

بيروكسيدات التحليل العام [meq O ₂ / كغ]	P _s
بيروكسيدات المحاكاة [meq O ₂ / كغ]	P _{sim}
النسبة المئوية للزيتون السليم في الدفعة (عديمة الوحدة).	S ₀
مدة عجن عجينة الزيتون [ثانية].	T _{gram}
درجة حرارة ماء التطرية في دخل المصفيّ [كلفن].	T _{a_in}
درجة حرارة ماء التطرية في خرج المصفيّ (مع آثار زيت) [كلفن].	T _{a_us}
النسبة المئوية للزيتون المتضرر كلياً في الدفعة (عديمة الوحدة).	T _D
درجة حرارة الزيت في خرج المصفيّ (مع آثار ماء) [كلفن].	T _{ol_us}
درجة حرارة الثفل في خرج المصفيّ [كلفن].	T _{sa}
درجة حرارة الزيت العظمى في أثناء الاستخراج [كلفن].	T _{ol_max}
درجة حرارة الزيتون في بداية العملية [كلفن].	T _{olive}
درجة حرارة عجينة الزيتون في دخل المصفيّ [كلفن].	T _{pa_in}
مدة استخراج الزيت من الدفعة [ثانية].	t _{ex}
بيروكسيدات التحليل العام [meq O ₂ / كغ].	P _s

مراجع

- [1] Amirante, P; Di Rienzo, GC; Di Giovacchino, L; Bianchi, B; Catalano, P. Evoluzione tecnologica degli impianti di estrazione dell'olio di oliva, *OLIVÆ*, 1993, vol. 48, pp. 43-53.
- [2] Amirante, P; Catalano P. Analisi teorica e sperimentale dell'estrazione dell'olio d'oliva per centrifugazione, *Rivista Italiana delle Sostanze Grasse*, 1993, Vol. LXX, pp. 329-335.
- [3] Catalano, P; Cini, E; Sarghini, F. Applicazione di modelli nell'agroindustria per la ricerca e la gestione dei sistemi produttivi, Proceedings of Innovazione delle macchine e degli impianti nel settore agroalimentare per un'agricoltura multifunzionale nel rispetto dell'ambiente, Anacapri 5-6 June, 2006.

- [4] Furferi, R; Carfagni, M; Daou, M. Artificial neural network software for real-time estimation of olive oil qualitative parameters during continuous extraction, *Computers and Electronics in Agriculture, Elsevier*, February 2007, Vol. 55 (2), pp. 115-131.
- [5] Cini E; Daou M; Furferi R; Recchia L. A modelling approach to extra virgin olive oil extraction, *Journal of Agriculture Engineering*, 2007, Vol. 4 (1), pp. 1-10.
- [6] Bordons C; Nunez-Reyes A. Model based predictive control of an olive oil mill, *Journal of Food Engineering*, January 2008, Vol. 84 (1), pp. 1-11.
- [7] Molina, JA; Pascual, MI; Using optical NIR sensor for on-line virgin olive oils characterization, *Sensors and Actuators B: Chemical*, Vol, 2005, Vol. 107 (1), pp. 64–68.
- [8] Lee, CK; Han, G; Bunn, YJ. Tomato maturity evaluation using color image analysis, *Transactions of the ASAE*, 1995, Vol. 38 (1), pp. 171-176.
- [9] Choong, TSY; Abbas, S; Shariff, AR; Halim, R; Ismail, MHS; Yunus, R; Salmiaton, A; Fakhrul-Razi, A. Digital image processing of palm oil fruits, *International Journal of Food Engineering*, 2006, Vol. 2 (7), pp. 1-10.
- [10] Brosnan, T; Sun, DW. Inspection and grading of agricultural and food products by computer vision – a review, *Computers and Electronics in Agriculture*, 2002, Vol. 36(1), pp. 193-213.
- [11] Guillermin, P; Camps, C; Bertrand, D. Detection of Bruise on Apples by Near Infrared Reflectance Spectroscopy, *Proceedings of the Fifth International Postharvest Symposium*, Verona June 6-11, 2004, Vol. II, pp. 1355-1361.
- [12] Stajnko, D; Cmelik, Z. Modelling of apple fruit growth by application of image analysis, *Agriculturae Conspectus Scientificus*, 2005, Vol. 70 (1) pp. 59-64.
- [13] Abdullah, MZ; Mohamad-Saleh, J; Fathinul-Syahir, AS;

- Mohd-Azemi BMN. Discrimination and classification of fresh-cut starfruits (*Averrhoa carambola* L.) using automated machine vision system, *Journal of food engineering*, 2006, Vol. 76 (4), pp. 506-523.
- [14] Kurita, M; Kondo, N; Ninomiya, K. Defect detection for tomato grading by use of six color CCD cameras, *Journal of Science and High Technology in Agriculture*, 2006, Vol. 18 (2), pp. 135-144.
- [15] Choong, TSY; Saad, A; Shariff, AR; Halim, R; Ismail, MHS; Yunus, R; Salmiaton, A; Fakhrul-Razi, A. Digital image processing of palm oil fruits, *International Journal of Food Engineering*, 2006, Vol. 2 (2): article 7.
- [16] Bodria, L; Fiala, M; Guidetti, R; Oberti, R. Optical techniques for assessing the fruit maturity stage, ASAE Annual International Meeting / *CIGR XVth World Congress*, 2002, Chicago, USA.
- [17] Lee, HW; Syono, MI; Hj, I; Azid, A. Application of Artificial Neural Network (ANN) for predicting the behavior of micromachined diaphragm actuated electrostatically, *The Sixth IEEE Conference on SENSORS IEEE SENSORS 2007*, October 28-31, 2007, Hyatt Regency Atlanta, Atlanta, Georgia, USA.
- [18] B1 Anonymous, UNI 22608. Determination of sugar in accordance with Luff Schoorl, 1992.
- [19] B2 Singleton, VL; Rossi, JA. Colorimetry of total phenolic with phosphomolybdic-phosphotungstic acid reagents. *Am. J. Enology and Viticulture*, 1965, 16, 144-158.
- [20] B3 M.I.P. n. 18 rev.4. Determinazione dei polifenoli colorimetrici. Laboratorio Chimico Merceologico Azienda Speciale C.C.I.A.A. di Firenze.
- [21] Anonymous, Regulation (EC) n° 2568/1991. *Off. J. Comm. E. C.*, Aug 5th 1991, L248, 6-9 33-35.
- [22] B5 Anonymous, Regulation (EC) n° 510/2006. *Off. J. Comm.*

- E. C., March 20th 2006, L93, 12-25.
- [23] B6 NGD C 89/2007. Method Determination of biophenols in olive oils by HPLC. Natural and oxidised oleuropein and ligstroside derivatives, lignans, flavonoids and phenolic acids. *Commissione Tecnica Ssog*, 2007.
- [24] B7 G TONOLO, S. MARZO, Determinazione della Vitamina E aggiunta e dei tocoferoli naturali negli oli di semi dietetici via HPLC, *Riv. Ital. Sostanze Grasse*, 1989, 66, 3-6.
- [25] M.I.P. n. 22, Rev. 4. Determinazione dei tocoferoli - Laboratorio Chimico Merceologico – Azienda Speciale della CCIAA di Firenze.
- [26] Vichi, S; Castellote, AI; Pizzale, L; Conte, LS; Buxaderas, S. Lopez-Tamamens, Analysis of virgin olive olive oil volatile compounds by handspace solid-phase microextraction couplet to gas chromatography with mass spectrometry and flame ionization detection. *Journal of Chromatography A*, 2003, 983, 19-33.
- [27] Anonymous, Regulation (EC) n° 796/2002. Off. J. Comm. E. C. L128:1-28, May 15th (2002).
- [28] Mugelli, M; Cini, E; Migliorini, M; Simeani, G; Modi, G; Migliarese, F; Sistemi di frangitura: influenza sulle caratteristiche chimiche ed organolettiche dell’olio di oliva extravergine, Firenze, IT: Ed. *Camera di Commercio I.A.A. di Firenze Laboratorio Chimico Merceologico* – Firenze, IT, 1998.
- [29] Salvador, MD; Aranda, F; Fregapane, G. Influence of fruit ripening on ‘Cornicabra’ virgin olive oil quality A study of four successive crop seasons. *Food Chemistry*, 2001, Volume 73, Issue 1, pp. 45-53.
- [30] Gómez-Rico, A; Fregapane, G; Desamparados Salvado, M. Effect of cultivar and ripening on minor components in Spanish olive fruits and their corresponding virgin olive oils. *Food Research International*, 2008, Volume 41, Issue 4, pp. 433-440.

- [31] Uceda, M; Frías, P. Épocas de recolección. Evolución del contenido graso del fruto y de la composición del aceite, Córdoba: *Caja Provincial de Ahorros de Córdoba*, 1975.
- [32] Caponio, F; Gomes, T; Pasqualone, A. Phenolic compounds in virgin olive oils: influence of the degree of olive ripeness on organoleptic characteristics and shelf-life. *European Food Research and Technology*, February 2001, Volume 212, Number 3. Springer Berlin / Heidelberg, GE.
- [33] Johnson, T. Methods for characterizing colour scanners and digital cameras, *Displays*, 1996, Vol. 16(4), pp. 83–191.
- [34] Maier, TO; Rinehart, CE. Design criteria for an input color scanner evaluation test object, *J. Photo. Sci.*, 1990, Vol. 38, pp. 169-172.
- [35] Gonnet, GF. Colour effects of co-pigmentation of anthocyanines revisited-1. A colorimetric definition using the CIELAB scale, *Food Chemistry*, 1998, Volume 63, Issue 3, pp. 409-415.
- [36] Kim, DH; Nobbs, JH. New weighting functions for the weighted CIELAB colour difference formula, *Proc Colour*, 1997, Vol. 97(1), pp. 446–449.
- [37] Lloyd, S. Last square quantization in PCM's, Bell Telephone Laboratories Paper, 1957. Published in journal much later: S. P. Lloyd. Least squares quantization in PCM. Special issue on quantization, *IEEE Trans. Inform. Theory*, 28, 129–137, 1982.
- [38] MacQueen, JB. Some Methods for classification and Analysis of Multivariate Observations, *Proceedings of 5-th Berkeley Symposium on Mathematical Statistics and Probability*, Berkeley, University of California Press, 1, 281-297.
- [39] Kumral, A; Basoglu, F. Darkening methods used in olive processing, *ISHS Acta Horticulturae*, Vol. 791: V International Symposium on Olive Growing.
- [40] Carfagni, M; Furferi, R; Governi, L. A real-time machine-

vision system for monitoring the textile raising process, *Computers in Industry*, 2005, Vol. 56, pp. 831–842.

- [41] Horn BKP. (1986). *Robot Vision*. MIT Press, 69-71. ISBN 0-262-08159-8.
- [42] Anonymous, Regolamento CEE n° 2568/91, G.U. CEE n° L 248 del 05/09/91 e successive modificazioni.
- [43] Anonymous, Regolamento CEE n° 2081/92, G.U. CEE n° L 208 del 24/07/92 e successive modificazioni.
- [44] Anonymous, Regolamento (CE) n. 796/2002, G.U. CE n. L 128/8 del 15.5.2002.
- [45] Amirante, P; Di Rienzo, GC; Di Giovacchino, L; Bianchi, B; Catalano, P. Evoluzione tecnologica degli impianti di estrazione dell'olio di oliva. *OLIVAE* (1993) Vol. 48, pp. 43-53.
- [46] Amirante, P; Catalano, P. Analisi teorica e sperimentale dell'estrazione dell'olio d'oliva per centrifugazione, *Rivista Italiana delle Sostanze Grasse*, 1993, Volume LXX, pp. 329-335.
- [47] Amirante, P; Cini, E; Montel, GL; Pasqualone, A. Tecnologie innovative per l'estrazione dell'olio vergine di oliva in Toscana: influenza dei parametri di processo sulla qualità, *L'innovazione tecnologica per l'agricoltura di precisione e la qualità produttiva*, 1999, Grugliasco (Torino), IT.
- [48] Amirante, P; Pasqualone, A; Montel, GL; Catalano, P; Cini, E; Di Giovacchino, L; Clodoveo, ML; Baccioni, L; Cresti, G. Influenza delle tecniche estrattive sulla qualità dell'olio in Toscana, Nuovi sistemi di coltivazione dell'olivo, *Atti ARSIA*, 2001, pp. 63-67.
- [49] Bishop, CM. *Neural Networks for Pattern Recognition*, Oxford University Press Inc; New York, US, 1995.
- [50] Catalano, P; Cini, E; Sarghini, F. Applicazione di modelli nell'agroindustria per la ricerca e la gestione dei sistemi produttivi, *Atti del Convegno "Innovazione delle macchine e degli impianti*

nel settore agroalimentare per un'agricoltura multifunzionale nel rispetto dell'ambiente", Anacapri, 5-6 Giugno 2006.

- [51] Çavasoglu, A; Oktar, A. Gli effetti dei fattori agronomici e delle condizioni di stoccaggio prima della frangitura sulle qualità dell'olio d'oliva. *OLIVÆ*, 1994, Vol. 52, pp. 18-24.
- [52] Cini, E; Magni, J; Migliorini, M; Mugelli, M; Pasquini, M; Recchia, L. Sperimentazione di una gramola ad asse verticale nell'estrazione di olio di oliva. *Riv. Ing. Agr*, 2006 Vol. 1, pp. 1-10.
- [53] Pereira, JA; Casal, S; Bento, A; Oliveira, MB. Influence of olive storage period on oil quality of three Portuguese cultivars of *Olea europea*, Cobrançosa, Madural, and Verdeal Transmontana, *J. Agric Food Chem*, 2002, Vol. 50(22), pp. 6335-6340.
- [54] Davis P. Levenberg-Marquart Methods and Nonlinear Estimation, *SIAM News*, 1993, Vol. 26, Number 6.
- [55] Di Giovacchino, L; Mascolo, A. Incidenza delle tecniche operative nell'estrazione dell'olio dalle olive con il sistema continuo. Nota II. *Rivista Italiana delle Sostanze Grasse*, 1998, Vol. 4, pp. 283-289.
- [56] Ranalli, A; Pollastri, L; Contento, S; Iannucci, E; Lucera, L. Effect of olive paste kneading process time on the overall quality of virgin olive oil, *European journal of lipid science and technology*, 2003, vol. 105(2), pp. 57-67 ISSN 1438-7697.
- [57] Parenti, A; Spugnoli, P; Masella, P; Calamai, L. The effect of malaxation temperature on the virgin olive oil phenolic profile under laboratory-scale conditions, *European Journal of Lipid Science and Technology*, 2008, Volume 110 Issue 8, Pages 735 – 741.
- [58] Caponio, F; Gomes, T. Influence of olive crushing temperature on phenols in olive oils. *European food research & technology*, 2001, vol. 212(2), pp. 156-159, ISSN 1438-2377.
- [59] Di Giovacchino, L; Sestili, S; Di Vincenzo, D. Influence

- of olive processing on virgin olive oil quality, *Eur. J. Lipid Sci. Technol*, 2002, Vol. 104, pp. 587-601.
- [60] Caponio, F; Gomes, T; Summo, C; Pasqualone, A. Influence of the type of olive-crusher used on the quality of extra virgin olive oils, *Eur. J. Lipid Sci. Technol*, 2003, Vol. 105, pp. 201–206.
- [61] Caponio, F; Gomes, T. Influence of olive crushing temperature on phenols in olive oils, *Eur. Food Res., Technol*; 2001, Vol. 212, pp 156–159.
- [62] Migliorini, M; Mugelli, M; Cherubini, C; Viti, P; Zanoni, B. *J. Sci. Food Agric.*, 2006, 86, 2140-2146.
- [63] Servili, M; Taticchi, A; Esposto, S; Urbani, S; Selvaggini, R; Montedoro, GF. *J. Agric. Food Chem.*, 2007, 55, 7028-7035.
- [64] Servili, M; Selvaggini, R; Esposto, S; Taticchi, A; Montedoro, Gf; Morozzi, G. *J. Chrom.*, 2004, 1054, 113-127.
- [65] Migliorini, M; Cherubini, C; Zanoni, B; Mugelli, M. Cini, E. Berti, EA. *Riv., Ital.*, 2008, Sostanze Grasse In Press.
- [66] Migliorini, M; Zanoni, B; Berti, A; Cherubini, C; Cini, E; Daou, M; Mugelli, M. *Protocolli Innovativi Per La Produzione Di Olio Extravergine Di Oliva Nella Realtà Aziendale Toscana. Camera Di Commercio Di Firenze*, Firenze (2008).
- [67] Nergiz, C; Engez, Y, Compositional variation of olive during ripening. *Food Chem.*, 2000, 69, 55-59.
- [68] Ryan, D; Antolovich, M; Prenzler, P; Robards, K; Lavee, S, Biotransformations of phenolic compounds in *Olea Europaea*. *Sci Hort*, 2002, 92, 147-176.

الفصل الثاني

منهجية لتخصيص الموارد والجدولة في البيئات غير الأكيدة وتطبيقاتها في إدارة الأعمال الزراعية

Senlin Guan^{1()}, Morikazu Nakamura¹ and Takeshi Shikanai²*

¹Faculty of Engineering, University of the Ryukyus, 1 Senbaru
Nishihara,

Okinawa, Japan, 903-0213.

²Faculty of Agriculture, University of the Ryukyus, 1 Senbaru
Nishihara, Okinawa,
Japan, 903-0213.

ملخص

يقدم هذا الفصل منهجية للجدولة ضمن ظروف مقيّدة مع تطبيقاتها في إدارة أعمال المزارع للشركات الزراعية الكبرى التي تُستأجر وتدير أراضي زراعية واسعة ومتباعدة جغرافياً وتكون عملياتها الزراعية ممكنة كاملة. وتتضمن هذه المنهجية شبكات بتري (Petri Nets) الهجينة لنمذجة تسلسل أعمال المزرعة، وإجراءات مساعدة عامة (Metaheuristic) لتخصيص الموارد وجدولة الأعمال حين الأخذ في الحسبان للقيود والحالات غير الأكيدة. وقد جمعت تطبيقات لتسجيل أعمال المزرعة اليومية، وإدارة وتحديث الجداول والبيانات ذات الصلة في موقع في الويب ضمن منظومة إدارة متكاملة. ويُركّز هذا البحث الاهتمام على منظومة القطاف، خاصة في عمليات إنتاج قصب السكر الكبرى للشركات الزراعية.

(*) المؤلف المراسل: guansid@gmail.com

لقد تبين من استعراض نماذج تسلسل الأعمال الزراعية أن نموذج شبكات بتري الهجين قد استوعب على نحو ملائم الأحداث المتقطعة والمستمرة والمتزامنة والسكونية والمتغيرة التي تحصل في العمليات الزراعية. فقد تعامل هذا النموذج مع الحالات الابتدائية والمتقدمة للأراضي والموارد الزراعية ومجموعات الآلات المتنقلة والعمل المتعدد الآلات والتغلب على العقبات على نحو جيد. وتتألف إجراءات تقريبية مساعدة (Metaheuristic) ثنائية الأطوار في شبكة بتري من خوارزمية محاكاة التقسيم (SA) (Simulated Annealing Algorithm) تخصيص الموارد، وخوارزمية جينية (GA) (Genetic Algorithm) جدول عمل المزرعة. وبيّنت النتائج التجريبية الخاصة بتطور الحل في الإجراءات التقريبية المساعدة الثنائية الطور أن التطور السريع للحل وجودته العالية قد حصل من خلال تأكيد استمثال تخصيص الموارد، واستبداء لوائح أفضلية موروثية من أفضل سلسلة مهام حالية في تخصيص الموارد السابق واستخدام وقت الانتظار بين الأعمال. وكان جدول تخصيص الموارد، المولد بناءً على أعلى نسبة استعمال لها، قابلاً للتطبيق من أجل وضع خطة عمل شاملة بعيدة المدى للأراضي الزراعية في بعض الشركات الزراعية الكبيرة، في حالة النظر في الأنشطة المعتادة التي من قبيل الأعمال المتعددة الآلات ومدد انتقال الآلات ومدد الانتظار في ما بين الأعمال. وفي منظومة الأعمال المتكاملة، جرى تطوير تطبيق لتسجيل أعمال المزرعة اليومية باستعمال هاتف خلوي مزوّد بالنظام الكوكبي لتحديد الموقع (GPS) (Global Positioning System)، مع وصلة إنترنت. وجرى استقصاء الجدوى التقنية والمزايا العملية لاستعمال الهواتف الخلوية في تسجيل بيانات عمل المزرعة عملياً. وثمة وصف تفصيلي أيضاً لتطبيقات أخرى مثل الإدارة القائمة على الويب في منظومة الإدارة المتكاملة.

يمثل النموذج المقترح والإجراءات العامة المساعدة نموذجاً واعداً لكل من تخطيط عمل المزرعة والخطة المرجعية لحل مسألة الجدولة بوجود قيود.

1- تقديم

1.1 خلفية العمل وأغراضه

بعد الحرب العالمية الثانية، أنعش تعزيز الديمقراطية في المجتمعات الريفية في اليابان كثيراً من المزارعين الذين امتلكوا أراضٍ زراعية خاصة صغيرة المساحة. لكن ما لا يمكن نكرانه هو أن تعزيز الديمقراطية أدى إلى مشكلات رافقت صياغة بنية الأراضي الزراعية في اليابان، تجلت في إدارة المزارع الصغيرة وتلك ذات الأعمال

المتباعدة مكانياً. وبغية ضمان استدامة المزارع الواعدة في ظل تحرير التجارة الزراعية وتحسين قواعد التجارة العالمية، وضعت الحكومة اليابانية سياسة لتشجيع المزارعين الأقوياء الذين يسعون إلى إنتاج مستقر ومستدام. وهذه السياسة تعزز إدماج المزارع والأراضي الزراعية بأيدي مزارعين مؤهلين [بشهادات]، وإنشاء شركات زراعية كبيرة يشارك فيها مزارعون محليون. وانتقلت المزارع في المجتمعات الريفية إلى الإنتاج بطريقة منظمة باستعمال مخططات لاستخدام الأرض، والتشارك في استخدام آلات متعدّدة، وتخصيص فاعل للأعمال الزراعية تبعاً لقدرات المزارعين. ونتيجة لهذه المساعي لتعزيز إدماج المزارع، كان ثمة في وقت ما 190,000 وحدة إدارية تعمل بوصفها شركات زراعية تهدف إلى إدارة فعالة للمزارع وواسعة النطاق (وزارة الزراعة والغابات وصيد الأسماك اليابانية، 2006، The Ministry of Agriculture, Forestry and Fisheries of Japan, 2006).

تستأجر تلك الشركات الأراضي الزراعية وتوحّدها في مناطق متجاورة، وتُدبر مزارع كبيرة باستعمال الأتمتة التامة، وتقوم بالأعمال الزراعية التي يوكلها بها مزارعون فرادى من أجل زيادة إيرادات الشركة الكبيرة. ويبلغ عدد المزارع التي تُديرها تلك الشركات الكبرى الآلاف أحياناً، وتكون مبعثرة ضمن منطقة جغرافية واسعة. وعلى وجه العموم، فإن تنفيذ أعمال زراعية إضافية يعمد بها [للشركات] مزارعون فرادى يعطى أفضلية على الأعمال الداخلية في الشركة، وذلك تلبية لاحتياجات الزبائن. وبالتالي فإن عدد الأعمال الزراعية الكبير في المزارع المتفرّقة يؤدي إلى إنتاجية منخفضة، وإلى عمل غير ذي مردود، ومنافسة على موارد محدودة من قبيل الآلات واليد العاملة.

على سبيل المثال، ثمة شركة زراعية كبرى في أوكليناوا، وهي الجزر الجنوبية من اليابان تستأجر الشركة أكثر من 90 مزرعة تساوي مساحتها الكلية 20 هكتاراً، وتزرعها بقصب السكر. ويغطي توزع المزارع المستأجرة من قبل الشركة منطقة تشمل عدّة قرى بكاملها. ونظراً لانعدام الإدارة الجيدة للأعمال الزراعية في الأراضي المتفرقة في منطقة واسعة من هذا القبيل، يبدأ تنفيذ الأعمال الزراعية عادةً متأخراً عن الموسم، فاقداً التوقيت الأمثل. ونظراً إلى عدم تخطيط الأعمال، فإن مردود قصب السكر لوحدة المساحة لدى هذه الشركة يقلّ عن مردود المزارعين العاديين. فمردود قصب السكر لدى هذه الشركة لا تتجاوز 4.66 طن لكل 1000 متر مربع تقريباً، وهذه المردود ضعيف نسبياً مقارنة بالمردود الوسطي

الذي تساوي 7.11 طن لكل 1000 متر مربع في أوكيناوا (بلدية أوكيناوا، 2008). لذا، وبغية استدامة وزيادة الإنتاج والنمو الاقتصادي، وتوسيع نطاق الإدارة بحيث تستوعب التطورات المستقبلية، على الشركات الكبرى أن تحسّن إدارة العمل اليومي، وتوسّع التعاقد على استئجار المزارع واستئجار المزيد منها، والقيام بمزيد من الأعمال الإضافية. وهي تحتاج حاجة ماسة إلى منظومة إدارية لإدارة تقدّم العمل تقوم على بيانات يومية مسجلة عن أعمال المزرعة، إضافة إلى منظومة جدولة تعطي جدولاً فاعلاً للأعمال الزراعية الموزعة جغرافياً.

يشتمل إنشاء المنظومة الإدارية على أعمال تتعلق بتسجيل بيانات عن تقدّم أعمال المزرعة اليومية والتغيّرات والحالات الطارئة البيئية في الزمن الحقيقي، والحفاظ على جدول وقاعدة بيانات لأعمال المزرعة ومواردها واليد العاملة فيها. وقد وفّرت تكنولوجيا المعلومات وأجهزة الاتصال النقلة اليوم مزايا عظيمة في تحصيل تلك البيانات من أجل إدارة الأعمال الزراعية. فنظام تحديد الموقع الكوكبي GPS، ومنظومة المعلومات الجغرافية GIS، يمكّنان من تحديد وتسجيل مواقع الأراضي الزراعية. إن استعمال بيانات نظام تحديد الموقع الكوكبي التي توافرها الطرفيات النقلة، يمكن أن يوفر معلومات عن مواقع الأراضي الزراعية بسهولة للمشغل، إلا أنه لم يقم باحث واحد بدراسة إقامة منظومة إدارة سهلة الاستعمال ومنخفضة التكلفة من هذا النوع للشركات الزراعية الكبرى أو للمزارعين العاديين. لذا قمنا في هذا البحث بتطوير منظومة لتسجيل بيانات المزرعة اليومية باستعمال تكنولوجيا الـ GPS والـ GIS، وذلك من أجل استعمال تلك البيانات المسجّلة في منظومة النمذجة والجدولة.

وتشتمل الأعمال التطويرية اللازمة لإقامة منظومة جدولة على بناء نموذج لنمذجة المزارع الموزعة على أراضٍ متفرقة بوجود تغيرات بيئية، إضافة إلى نمذجة التغيّرات أو حالات عدم التيقن الناجمة عن الطقس أو تعطل الآلات، وتصميم خوارزمية لاستمثال جدول الأعمال الزراعية استناداً إلى النموذج المطور.

وفي ما يخص النموذج، ليس نموذج مخطط بياني للمهام (Task Graph Model) (Djordjevic & Totic, 1996) أو مخطط خارطة برنامج تقنية التقييم والمراجعة (Program Evaluation and Review Technique) (PERT) (Cottrel, 1999) ملائمين لنمذجة المزارع الموزعة على أراضٍ متفرقة، لأن مدة معالجة مهمة معينة يتغيّر

مع تعيّر الموارد المتوافرة مثل الآلات واليد العاملة. ف نموذج جدولة الأعمال الزراعية يجب أن يكون قادراً على تمثيل التغيّرات أثناء وقت المعالجة. وحينئذٍ تصبح الجدولة القائمة على نموذج عدم اليقين شديدة الصعوبة. لذا، وبغية التعامل مع التغيّرات، طوّرنا نموذجاً هجيناً لشبكة بتري (Hybrid Petri Net Model) (David & Alla, 2001) لنمذجة المزرعة الموزّعة على أراضي زراعية متفرقة.

في استمثال الجدولة القائم على النموذج الهجين لشبكة بتري، يجب تحديث جدول الأعمال الزراعية الناتج على نحو متكرر استناداً إلى التغيّرات المسجلة عن الطقس أو حالة نمو المحصول. وتُعرّف هذه الجدولة، التي يمكن أن تعيد جدولة الأعمال استناداً إلى تراكم التقدّم في الأعمال، بأنها جدولة تفاعلية (Reactive Scheduling)، وذلك وفقاً للتصنيف الوارد في (Li & Ierapetritou, 2008). تقوم الجدولة التفاعلية بحسابات إعادة الجدولة حينما تتغيّر حالة مورد ما، أو مع نمو المحصول، أو حينما يتبدّل الطقس، حيث يصبح من غير الممكن التقدّم في تنفيذ الأعمال الزراعية وفقاً للجدول الراهن. وقد اهتمنا في منظومة الجدولة بحسابات استمثال جداول أعمال شاملة وطويلة الأجل في دورة نمو المحصول، وجداول تفاعلية على أساس تراكم تقدّم الأعمال، وجداول تتضمن عمل المزرعة اليومي في الزمن الحقيقي. إن الطرائق الحالية لاستمثال الجدولة ضمن ظروف من عدم التيقن، ومنها البرمجة الرياضية، تعطي جدولاً مستمثلاً، لكنه ينطوي على تعقيدات حين ازدياد عدد القيود وحالات عدم التيقن. وفي المقابل، تُعتبر الإجراءات التقريبية المساعدة مفيدة في التعامل مع حالات عدم تيقن متنوعة مثل التغيّرات العشوائية أو الاعباطية غير الخاضعة إلى توزّع احتمالي معيّن (Santiago-Mozos et al., 2005; Suliman, 2000)، وهو مناسب لحل مسألة جدولة عمل المزرعة. وفي هذا البحث، طبّقنا إجراءات تقريبية عامة ثنائية الأطوار لإنشاء جدول عمل تفاعلي طويل الأجل استُعملت فيه خوارزمية محاكاة التقسية لاستمثال تخصيص الموارد (Laarhoven et al., 1992) وخوارزمية جينية (Man et al., 1999) لاستمثال جدولة العمل، في المزارع الموزّعة.

وفي هذه الدراسة، نركّز الاهتمام أيضاً على تطوير منظومة متكاملة لإدارة الأعمال الزراعية باتباع عدة طرائق واعدة. تتألف هذه المنظومة من منظومة لتسجيل بيانات المزرعة (Guan et al., 2006b)، ومنظومة إدارة قائمة على الويب، ومنظومة نمذجة (Guan et al., 2008) وجدولة. وتتضمن منظومة تسجيل بيانات المزرعة

جدول العمل اليومي للعمال، وسجلات عن تقدُّم عمل المزرعة اليومي، وعن تأخُر المطر وتعطُّل الآلات وتغيُّرات العمل الناجمة عن ظروف نمو المحصول... إلخ. وتوافر المنظومة القائمة على الويب منصةً لتحديث قاعدة البيانات وتوليد تقارير تحليل الأعمال. وتُمدج منظومة النمذجة تسلسل أعمال المزرعة وحالات عدم التيقن على شكل بيانات رياضية، وتعمل بوصفها أداة محاكاة لوصف الحالة العامة لتقدُّم عمل المزرعة وتوافر الموارد له. وتوافر منظومة الجدولة للمزارعين جدولاً طويلاً الأجل وجدولاً في الزمن الحقيقي، وتؤدِّي أهم دور في المنظومة برمتها. وثمة شرح تفصيلي لمسوغات النموذج والإجراءات التقريبية العامة الثنائية الأطوار وقابلية التطبيق العملي لهما. ويُسلط البحث الضوء على منظومة المحاصيل، خاصة إنتاج قصب السكر لدى الشركات الزراعية الكبرى. وعلى سبيل المثال، استعملنا زراعة قصب السكر لاستعراض مقدرة طريقتنا على إنشاء خطة تفاعلية لعمل المزرعة.

2.1 ترتيب الفصل

رُتبت بقية الفصل على النحو الآتي.

في المقطع 2، ثمة مراجعة لأسس شبكات بتري، وشبكات بتري الهجينة والطرائق الحاسوبية التقريبية: خوارزمية محاكاة التقسية والخوارزمية الجينية.

وفي المقطع 3، نصِّف منظومة إدارة متكاملة لعمل المزرعة تتضمن تسجيل عمليات المزرعة، والقيام بعمل المزرعة اليومي على منصة قائمة على الويب، وتوفير جدول مناسب للأعمال الزراعية. ونستعرض بنود البيانات الزراعية، وطريقة تحديد الأراضي الزراعية التي تجري فيها الأعمال الراهنة، وذلك باستعمال الـGPS، وطرائق تحميل ملفات خرائط الأراضي الزراعية وقاعدة بيانات العمل فيها، وناقش نتائج التجارب في تطبيقات عملية.

وفي المقطع 4، نركِّز الاهتمام فقط على تصميم نموذج مناسب لتسلسل العمل في المزارع الموزعة جغرافياً. وثمة وصف تفصيلي لنهج نمذجة تسلسل العمل في مزرعة واحدة، والأعمال الزراعية التي تتشارك في الآلات المتعددة، والتوقُّفات في أثناء العمل. ويتضمَّن هذا المقطع أيضاً استعراضاً لمحاكاة جدول العمل على أساس شبكة بتري هجينة، مع عرض لسلوك الشبكة.

وفي المقطع 5، نقترح إجراءات تقريبية حاسوبية عامة ثنائية الأطوار للجدولة.

ونناقش أولاً مشكلة الجدولة المعتادة ومسألة الجدولة في تخطيط عمل المزرعة. ثم نقوم بصياغة القيود الموجودة في عمل المزرعة الواقعي على شكل تعريف رياضي، وعلى شكل شبكة بتري هجينة، ونصف أيضاً العلاقة التي تربط بينهما. ثم نقدّم الإجراءات التقريبية العامة الثنائية الأطوار لجدولة أعمال المزرعة مع أخذ القيود في الحسبان. أخيراً، ثمة وصف لتجربة المحاكاة والنتائج الحسابية المجراة بغية التحقق من الطريقة. وينتهي الفصل في المقطع 6 بخلاصة عن بحثنا.

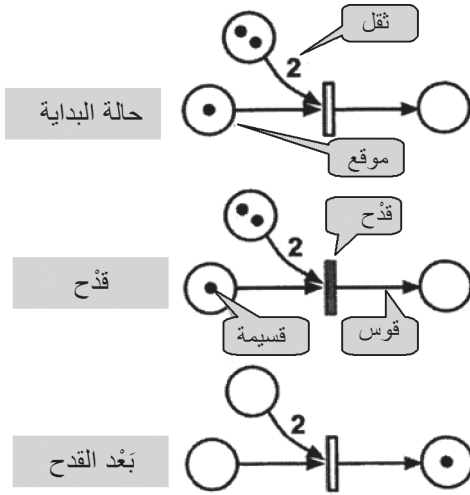
2- معلومات تمهيدية

1.2 شبكات بتري

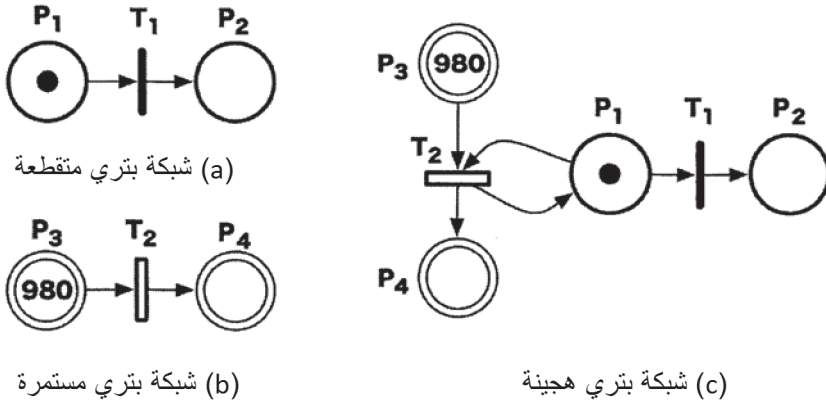
1.1.2 شبكة بتري المتقطعة والمتواصلة

شبكة بتري هي أداة نمذجة بيانية ورياضية لوصف ومحاكاة أنشطة المنظومات المتزامنة والمتغيرة (Murata, 1989). وهي مستعملة على نطاق واسع لنمذجة منظومات الأحداث المتقطعة والمتواصلة مثل المنظومات الحاسوبية ومنظومات التصنيع وغيرها. وبصفتها لغة نمذجة، ترسم بيانياً بنية المنظومة الموزعة على شكل مخطط ثنائي موجّه، إضافة إلى تمثيلها للاستنتاج المنهجي رياضياً بمعادلات حالة أو معادلات جبرية.

تُعتبر شبكة بتري نوعاً خاصاً من المخطط الثنائي المثقل الموجّه (Directed, Weighted and Bipartite Graph) الذي يتألف من نوعين من العُقد تسمى بالمواقع (Place) والانتقالات (Transition)، وتُرسم المواقع على شكل دوائر، وتُرسم الانتقالات على شكل قصبان أو مستطيلات (الشكل 1.2). وتمثّل الأقواس التي تصل بين المواقع والانتقالات العلاقات بين الحالات المحلية والأحداث. وتوضع على الأقواس بين المواقع والانتقالات أرقاماً تمثل أثقالها، ويُحذف الثقل عادة إذا كان مساوياً للواحد. وتسمى القسيمة (Token) علماً (Marker)، والعلامات هي نقاط سوداء ضمن مواقع الشبكة. وتؤثر الانتقالات في قسائم الدخل بعملية تسمى القُدح (Firing). وحينما يقدح الانتقال، يستهلك القسائم الموجودة في مواقع دخله، ويُجري بعض مهام المعالجة، ويضع عدداً محدداً من القسائم في كل من مواقع خروجه. يُري الشكل 1.2 عملية التحول من حالة البداية إلى حالة النهاية بفعل القُدح.



الشكل 1.2: عملية القُدح في شبكة بتري.



الشكل 2.2: شبكة بتري متقطعة، وشبكة بتري مستمرة، وشبكة بتري هجينة.

يمكن تعريف شبكة بتري المتقطعة على أنها $N = \langle P, T, Pre, Post \rangle$ ، حيث P مجموعة من المواقع، و T هي مجموعة من الانتقالات، و Pre و $Post$ هما تابعا تقاطع (Incidence Function) قبلي وبعدي، ويمثلان أقواس الدخل والخرج. وتسمى شبكة بتري التي يكون فيها العلام m_0 معرفاً تماماً بمنظومة شبكة بتري $N = \langle P, T, Pre, Post, m_0 \rangle$ ، حيث m_0 هو تابع يمثل العدد الابتدائي للقوائم التي تُرسم على شكل نقاط سوداء في كل موقع.

ومقارنة بشبكة بترى المتقطعة، يُشار إلى علام الموقع في شبكة بترى المستمرة بعدد حقيقي، ويكون قَدْح الانتقالات عملية مستمرة. وتتميز شبكة بترى المستمرة عادة المنظومات المستمرة أو تمثّل تقريباً للمنظومات المتقطعة. يُري الشكل 2.2-a شبكة بترى متقطعة، ويُري 2.2-b شبكة بترى مستمرة.

في شبكات بترى المتقطعة والمستمرة، يُحقّق تحويل علامات المواقع العلاقة الأساسية الآتية:

$$m = m_0 + A \cdot s \quad (1.2)$$

حيث A هي مصفوفة التقاطع، و m_0 هو العلام في البداية للموقع. ويمثّل m العلام الحالي للموقع. ويتألف الشعاع s ، المميز لسلسلة القدح، من متوالية من العلامات المتتالية، وهو شعاع مطابق لعدد قَدْحَات الانتقال المتعلق به. وخلافاً للشعاع s الذي يمثل بأعداد صحيحة في شبكة بترى المتقطعة، فإن الشعاع s في شبكة بترى المستمرة يتألف من أعداد حقيقية.

2.1.2 شبكة بترى الهجينة

من الممكن في كثير من الحالات نمذجة تقريبية لتنفيذ العمل على شكل تسلسل متواصل، إلا أن حالة الموارد تبقى متقطعة بالضرورة. لذا يُلجأ إلى نموذج شبكة بترى الهجينة لنمذجة المنظومات التي من هذا النوع (David & Alla, 2001). تُعرّف منظومة شبكة بترى الهجينة بـ:

$$N = \langle P, T, Pre, Post, m_0, h \rangle$$

حيث $P, T, Pre, Post, m_0$ تماثل نظيراتها في شبكات بترى المتقطعة، و h هو تابع هجين يُشير إلى عقدة متقطعة أو متواصلة. وتحتوي شبكات بترى الهجينة على جزء متقطع وآخر متواصل (الشكل 2.2-c). وفي شبكة بترى الهجينة، يجب أن تكون جميع مواقع الدخل المتقطعة مواقع خرج أيضاً، والعكس صحيح، مع أقواس لها نفس الأوزان.

ويُري الشكل 2.2-c أيضاً تأثير الجزء المتقطع في الجزء المتواصل. يقدح الانتقال المتواصل T_2 بسبب وجود قسيمة في مخرج الموقع المتقطع P_1 . وحينها يقدح

الانتقال المتقطع T_1 ، يفقد الانتقال T_2 تأهيله ويتوقف عن القُدح. وعلى نحو مشابه، تُمكن تجزئة الفعل المتواصل بمرونة والتحكُّم فيه.

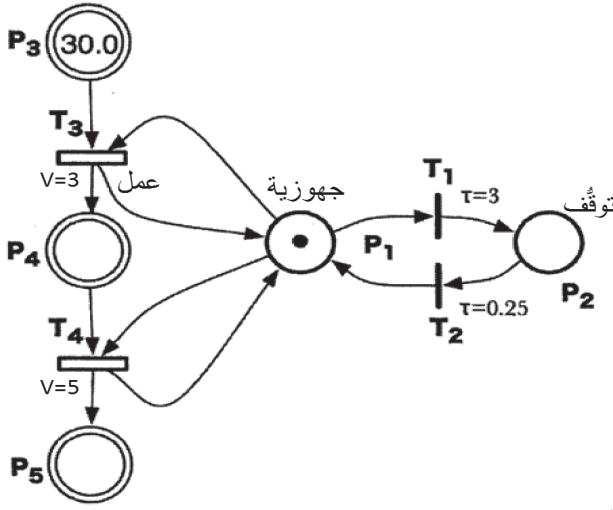
وتُعرَّف شبكة بتري الهجينة الموقوتة بأنها الشبكة التي تكون فيها المواقع أو الانتقالات مقترنة بالزمن. على سبيل المثال، إذا اقترن الموقع المتواصل P_3 بمدة انتظار $\tau = 10$ ، فإنه لا يمكن لـ T_2 أن يقُدح إلا بعد مدة $\tau = 10$. وأثناء مدة الانتظار، تكون القسيمة P_3 غير متاحة.

بأخذ زمن شبكات بتري الهجينة في الحسبان، تُمكن كتابة العلام m في الزمن t في شبكة بتري الهجينة على النحو الآتي:

$$m(t) = m(0) + A \cdot n(t) + \int_0^t v(u) \cdot d(u) \quad (2.2)$$

حيث A هي مصفوفة التقاطع، و $n(t)$ تشير إلى عدد القُدحات في الانتقالات المتقطعة بدءاً من وقت البداية حتى الزمن t . و $v(u)$ هي سرعة القُدح في الانتقالات المتواصلة في الزمن u .

يُري الشكل 3.2 شبكة بتري هجينة مع علام البدء $m(0)$. تقوم الوصلة بين انتقالين متواصلين على افتراض يحقق علاقة قيود الأسبقية (Precedence Constrained)، (Chekuri & Motwani, 1999). بكلمات أخرى، لا يمكن لعمل لاحق T_4 أن يبدأ إلا بعد اكتمال عمل سابق T_3 . وتُحسب مصفوفة التقاطع A من المصفوفة $Post - Pre$ ، وفي الزمن $\tau = 0$ ، يُقُدح T_3 بسرعة $v = 3$. وفي شبكات بتري الهجينة، تأخذ الانتقالات المتقطعة أفضليةً على الانتقالات المتواصلة. لذا تتغير المنظومة إلى حالة توقف عند $\tau = 3$ عندما يكون الانتقال T_1 في حالة قُدح. وتبقى حالة التوقف تلك قبل $\tau = 3.25$. وعند $\tau = 4$ ، يكون T_1 و T_2 قد قُدحا مرة واحدة، ويأخذ شعاع القُدح $n(4)$ القيمة $[1100]^T$. ويؤهل T_4 ويقُدح عند $\tau = 10.75$ ، وذلك هو وقت اكتمال T_3 . ويكون كل من T_1 و T_2 قد قُدحا حتى الآن ثلاث مرات. وتعطى العلامات في الأزمنة $\tau = 0, 3.2, 4, 11$ بالآتي:



الشكل 3.2: وضع علامات على شبكات بتري الهجينة.

(3.2)

$$m(0) = \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \\ 30 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} \quad A = \begin{bmatrix} -1 & 1 & 0 & 0 \\ 1 & -1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & -1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$m(0) = \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \\ 30 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} \quad A = \begin{bmatrix} -1 & 1 & 0 & 0 \\ 1 & -1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & -1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$m(3.2) = \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \\ 30 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} -1 & 1 & 0 & 0 \\ 1 & -1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & -1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \left(\begin{bmatrix} 1 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} -1 \\ 1 \\ 9.0 \\ 0 \end{bmatrix} \right) = \begin{bmatrix} 0 \\ 1 \\ 21.0 \\ 9.0 \\ 0 \end{bmatrix}$$

$$m(4.0) = \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \\ 30 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} -1 & 1 & 0 & 0 \\ 1 & -1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & -1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \left(\begin{bmatrix} 1 \\ 1 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 11.25 \\ 0 \end{bmatrix} \right) = \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \\ 19.75 \\ 10.25 \\ 0 \end{bmatrix}$$

$$m(11) = \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \\ 30 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} -1 & 1 & 0 & 0 \\ 1 & -1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & -1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \left(\begin{bmatrix} 3 \\ 3 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 30 \\ 1.25 \end{bmatrix} \right) = \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \\ 0 \\ 28.75 \\ 1.25 \end{bmatrix}$$

وباستعمال علامات شبكات بترى، من السهل مراقبة حالة المنظومة برمتها، ومن ذلك مدة الاكتمال والتقدم والقسائم في المواقع.

2.2 نهج الإجراءات التقريبية العامة

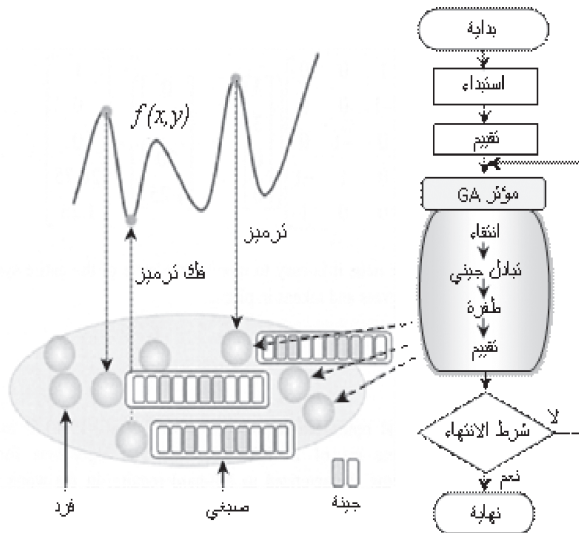
ينطوي حلّ مسائل الاستمثال التوافقي (Combinatorial Optimization Problems) (Cook et al., 1998) على العثور على حلول مستمثلة من مجموعة متقطعة من الحلول الممكنة. وفي أسوأ الحالات، يتطلّب حل خوارزميات مسائل الاستمثال التوافقي، التي لا تُعرف طريقة بسيطة لحلها، مدة حساب تزداد أُسيّاً مع ازدياد عدد المجاهيل في المسألة. حتى مع ظهور تكنولوجيات الحاسوب الحديثة والمعالجة المتوازية، لا يمكن حلّ كثير من تلك المسائل خلال مدد حساب معقولة. وأكثر من ذلك إن كثيراً من المسائل العملية لا تحتاج إلا إلى حلول تقريبية جيدة بسبب التبسيط الخشن للواقع وبيانات الدخل التقريبية، إضافة إلى التكلفة العالية للحصول على حلول مستمثلة. إن الغرض من الإجراءات التقريبية هو إيجاد حلّ تقريبي جيد للمسألة خلال مدة حساب معقولة، مع عدم وجود ضمان لكون الحل مستمثلاً.

تتصف الإجراءات التقريبية العامة بأنها استراتيجية عالية المستوى لتنظيم الإجراءات التقريبية والقواعد البسيطة بغية إيجاد حلول تقريبية (مستمثلة غالباً) لمسائل الاستمثال التوافقي الصعبة الحل حاسوبياً. ومن الإجراءات التقريبية العامة الشهيرة في هذا المجال خوارزميات محاكاة التفسية SA، وبحث تابو (Tabu Search)، والخوارزميات الجينية GA، والخوارزمية النهمية (Greedy Algorithm)،

والمستعمرات (Colonies) وغيرها. وتُعتبر الإجراءات التقريبية العامة من أكثر استراتيجيات الحل كفاءة في حل مسائل الاستمثال التوافقي عملياً، وقد طُبقت في مجال متنوع جداً من الحالات.

1.2.2 خوارزمية محاكاة التقسية

خوارزمية محاكاة التقسية SA (Laarhoven et al., 1992) هي واحدة من خوارزميات الإجراءات التقريبية العامة المستعملة لحل مسائل الاستمثال الشاملة. وتستند مفاهيمها إلى الطريقة التي تتجمد بها السوائل أو تتبلور بها المعادن في عملية التقسية. تمتلك السوائل أو المعادن المتبلورة في حالة التوازن الترموديناميكي طاقةً داخلية أخفض من طاقة البداية وذلك بسبب البرودة التدريجية. وبالمشابهة هذه العملية الفيزيائية، تستعير كل خطوة من خوارزمية محاكاة التقسية عن الحل الحالي بحل مجاور عشوائي يُختار باحتمال يعتمد على الفرق بين قيم التابع الموافقة له وعلى متوسط عام T (يُسمى درجة الحرارة). وتُخفّض قيمة المتوسط العام T تدريجياً أثناء العملية. ليكن $E(x)$ طاقة (أو تكلفة تقييم) المتغير المستقل x ، و T درجة الحرارة. أثناء عملية تخفيض T ، يتحدّد احتمال انتقاء القيمة الحالية x بالعلاقة الآتية:



شكل 4.2: خوارزمية جينية.

$$\begin{cases} 1 & \text{if } E(x') \leq E(x) \\ e^{-(E(x)-E(x'))/T} & \text{otherwise} \end{cases} \quad (4.2)$$

حيث x' هو متغيّر مستقل آخر في المنطقة المجاورة. وتعطي خوارزمية محاكاة التقسية الحلّ عندما حينما يصبح شرط النهاية صفرًا: $T = 0$.

2.2.2 الخوارزمية الجينية

في التطوّر الحيوي، يتمتّع الأفراد الأكثر جودةً بفرص أكبر للبقاء والتكاثر، لأنهم أقدر على التكيف مع بيئتهم. والخوارزمية الجينية (Man et al., 1999) المُستلهمة من عملية التطور الحيوي، هي خوارزمية تطورية تعمل على إيجاد حلول دقيقة أو تقريبية لمسألة الاستمثال. تحتفظ الخوارزمية الجينية الأصلية بمجموعة من الحلول المرشحة لتكون حلاً نهائياً وتتطور مع مرور الوقت وتتقارب في النهاية نحو حل وحيد. وينطوي استعمال الخوارزمية الجينية على ترميز (Encoding)، ومجموعة استبداء (Initializing Population)، وتقييم الملاءمة (Evaluating Fitness)، ومؤثرات الخوارزمية (الانتقاء (Selection)، والتبادل الجيني (Genetic Crossover)، والطفرة (Mutation) وفك الترميز (Decoding)).

يُمثّل كل فرد من أفراد الخوارزمية الجينية بمتوالية محدودة من الرموز ترمز حلاً ممكناً في فضاء حلول مسألة معيّنة. وهذا الفضاء، الذي يُسمى فضاء البحث، يتألف من كل الحلول الممكنة للمسألة موضوع الاهتمام. وتولّد مجموعة البداية من الأفراد عشوائياً أو بالحدس. وفي كل خطوة تطورية، تُعرّف بالجيل، يُفك ترميز الأفراد الموجودين في مجموعة الأفراد الحالية ويُقيّمون وفقاً لمعيار جودة معرّف سابقاً، يُسمى معيار أو تابع الملاءمة (Fitness Function). ومن أجل تكوين مجموعة أفراد جديدة، يُنتقى أفراد وفقاً لملاءمتهم للمعيار. ويحظى الأفراد الملائمون بفرصة أفضل للتكاثر، في حين أن الأفراد الأقل ملاءمة سوف يُختفون على الأرجح. ثم يحصل تبادل جيني على أساس احتمالي بين فردين مُصطَفَيْن، يسميان بالأبوين، وذلك بمبادلة أجزاء من جيناتهم من أجل تكوين فردين جديدين، يسميان بالولدين. ثم يُدخّل مؤثر الطفرة من أجل درء حصول اقتراب قبل أوانه إلى قيمة أمثلية محلية،

وذلك بأخذ عينات نقاط جديدة عشوائياً من فضاء البحث. ويتحقق ذلك بقلب قيم بعض البتات عشوائياً، باحتمال صغير. إن الخوارزميات الجينية هي عمليات عشوائية تكرارية غير مضمونة التقارب. لذا يجب تحديد شرط للانتهاء على شكل عدد أعظمي ثابت من الأجيال أو على شكل مستوى ملاءمة مقبول. ويرى الشكل 4.2 الإجراءات التكرارية لخوارزمية جينية.

3- تطبيقات في مجال إدارة الأعمال المزارع

1.3 تقديم

في أو كيناوا، يُستعمل نحو 50% من الأراضي الزراعية في زراعة قصب السكر الذي يُعدُّ محصولاً رئيسياً، وينخرط نحو 70% من المزارعين في إنتاجه. وحالياً، ثمة نحو 40 شركة تُنتج قصب السكر في أو كيناوا، ويُتوقع أن يزداد هذا العدد إلى 80 في المستقبل (Okinawa Prefecture, 2008). ومن أجل تحقيق إدارة مستقرة وفاعلة، تحتاج الشركات الزراعية الكبرى إلى منظومة ملائمة لإدارة أعمال المزارع على نحو مخطط ومنظم. والخطوة الأولى من التخطيط المنهجي هي فهم العمل الذي تقوم به الشركة بدقة. ومع أن الشركات تُدرك ضرورة توثيق الأعمال، إلا أنه لم يجرِ تسجيل وترتيب معظم بيانات أعمال المزارع بسبب التشغيل غير السليم للآلات الزراعية من قبل عمال غير مدربين، أو الإدارة السيئة للشركة من قبل موظفين غير متمرسين. ويتبع بعض العمال الطريقة المعتادة لتوثيق أعمالهم على دفاتر في أعقاب عودتهم إلى مكاتبهم بعد إنهابهم لأعمالهم. ونظراً إلى أن هذه السجلات تعتمد على ذاكراتهم، فإنها يمكن ألا تكون دقيقة. لذا لا تتوافر بيانات لتخطيط أعمال المزارع في ظل إدارة كفيئة. ومن أجل تحفيز الإدارة المستقرة والفعالة لأعمال المزارع من ناحية زيادة إنتاجية اليد العاملة، من الضروري الاستمرار في توثيق بيانات الأعمال الزراعية، ومنها مواقع حقول العمل، وبنود العمل، والآلات المستعملة في العمل اليومي.

وفي أوقات الانشغال العالي مثل موسم الحصاد، تستأجر شركات الزراعة المنتج لقصب السكر عمالاً مؤقتين ليسوا خبيرين بأراضي مزارعها. يُضاف إلى ذلك أن العدد الكبير من أراضي المزارع المستأجرة من قبل تلك الشركات الكبرى يؤدي إلى صعوبة تذكر الرقم الذي يعرف الأرض وموقعها أثناء العمل الزراعي. لذا فإن منظومة تجمع بين الـ GPS والـ GIS ضمن جهاز نقال يمكن أن تُسهّل على

العامل معرفة الموقع الصحيح للأرض التي يعمل فيها. لذا يجب أن يحقق الجهاز النقل للمزارعين الشروط الآتية: قابلية الحمل والنقل، وأن تكون بطاريته مديدة العمر، وأن يكون منخفض التكلفة من حيث الثمن والتشغيل. ويُفضّل استعمال تجهيزات محمولة باليد، مثل المساعد الشخصي الرقمي PDA المزوّد بمستقبل GPS حين تحديد الموقع، وذلك لأن المساعد الشخصي الرقمي يمكن أن يحتوي على بيانات GIS دقيقة. إلا أن ثمة تكلفة تترتب على اقتناء هذه التجهيزات، إذ يجب تزويد كل عامل في الشركة بواحد منها. من ناحية أخرى، يمكن للهاتف الخليوي، الذي يستعمله كثير من الناس، أن يكون أكثر ملاءمة من حيث كونه جهازاً نقلاً. حيث يمكن للعمال الذين يعملون في الشركات الزراعية المنتجة لقصب السكر على وجه الخصوص، التعامل مع بيانات العمل في المزارع باستعمال أجهزتهم الخليوية نفسها.

وحين استعمال الـ GIS في جهاز نقّال، يمكن تخزين بيانات الخرائط الجغرافية في ذاكرته. ولذا ثمة حاجة إلى ذاكرة كبيرة لتلك البيانات. يُضاف إلى ذلك أن أراضي المزارع التي تستأجرها الشركات يمكن أن تتغيّر من سنة إلى أخرى تبعاً لعقود الاستئجار ولنوع الأعمال في المزرعة. لذا فإن خريطة الـ GIS الخاصة بأرض المزرعة يجب أن تُحدّث سنوياً. وعلى المشرف على الخرائط الجغرافية إعادة تحميل البيانات على كل جهاز نقّال كل مرة تُحدّث فيها الخريطة. ونظراً إلى أن عدداً غير محدّد من العمال المؤقتين يعملون في الشركات الزراعية المنتجة لقصب السكر، يكون من الصعب على المشرف تحميل الخريطة الجديدة على كل جهاز. من ناحية أخرى، يمكن لمنظومة إدارة الخريطة الجغرافية المركزية، التي تخزن بيانات الـ GIS على مخدّم في الويب وتوزّع الخريطة منه على الأجهزة النقّالة عبر الإنترنت، أن توافر أفضل حلّ لهذه المشكلة. لكن تكلفة اتصال المساعد الشخصي الرقمي المزوّد بآلية تواصل مع الإنترنت سوف تكون أعلى كثيراً من تكلفة الهاتف الخليوي. لذا فإن الهاتف الخليوي المزوّد بوصلة مع الإنترنت يُعتبر أكثر ملاءمة، من حيث كونه جهازاً نقلاً، لاستعماله في الشركات الزراعية المنتجة لقصب السكر.

ولو أمكن للمزارعين الحصول على خريطة المناطق التي تحتوي على المواقع مجاورة لتلك التي يعملون بها وعرضها على شاشة الجهاز النقّال، لأمكنهم تحديد موقع حقل العمل والحصول على معلومات عنه بسهولة. لقد ازدادت البحوث التي

تستعمل الأجهزة النقالة والـ GPS والـ GIS وتكنولوجيا المعلومات الأخرى في الأعمال الزراعية زيادة كبيرة في السنوات الأخيرة. فعلى سبيل المثال، طوّرت شركة Otuka & Yamanaka عام 2003 منظومة مسح حقلية للحشرات يُستعمل فيها حاسوب محمول باليد مع مستقبل GPS. وطوّرت شركة Breunig & Baer عام 2004 منظومة تخطيط للمسار باستعمال مساعد شخصي رقمي يستطيع الإجابة عن الاستفسارات من قاعدة بيانات مكانية. وباستعمال هاتف خلوي مزوّد بمستقبل GPS، طوّر (Sikanen et al., 2005) منظومة مساعدة على الملاحة لسائقي الشاحنات، وهذه المنظومة مستعملة في عمليات الإمداد بوقود الغابات، وهي تُظهر الموقع الدقيق لأكوام تخزين الحطب في الغابات على الخريطة المرسومة على شاشات الأجهزة النقالة الخاصة بسائقي الشاحنات. إلا أن تكلفة تطوير منصات المنظومة العادية والبرمجية عالية، ولا يمكن استعمال البرمجيات المستعملة في عمليات الإمداد بوقود الغابات لأنها برمجيات تجارية مخصصة لذلك الغرض.

لذا سوف نُقدّم في هذا المقطع منظومة منخفضة التكلفة للشركات الزراعية الكبيرة تقوم بتوثيق بيانات الأعمال في المزارع وتتابع تقدّم العمل اليومي، وتوافر جدولة ملائمة للأعمال. وبدلاً من طريقة التوثيق اليدوية المعتادة، يُستعمل في المنظومة هاتف خلوي مزوّد بمستقبل GPS من أجل توثيق بيانات الأعمال في المزارع وتوفيرها للاستعمالات اللاحقة في ما بعد في أعمال ذات فعالية جيدة. وتحصل إدارة الأعمال اليومية في المزارع من خلال موقع في الويب. ويُرسَل جدول الأعمال المولّد بالطرائق المقترحة إلى المشغل بواسطة الجهاز النقال. وقد حصل التحقق من سلامة تسجيل بيانات الأعمال في المزارع من قبل بعض الشركات الزراعية الكبرى المنتجة لقصب السكر.

2.3 وصف المنظومة

يُري الشكل 1.3 منظومة متكاملة لإدارة العمل في المزرعة. لقد اختير هاتف خلوي مزوّد بوصلة إنترنت ومستقبل GPS ليكون جهازاً لتسجيل بيانات عن تقدّم العمل وظهور الحالات غير المؤكدة في المزرعة. ويجري الحصول على صفحات الويب من أجل الحصول على البيانات الزراعية من مخدّم ويب في الإنترنت، وتُعرض تلك الصفحات على شاشة الهاتف الخلوي بواسطة متصفح الويب

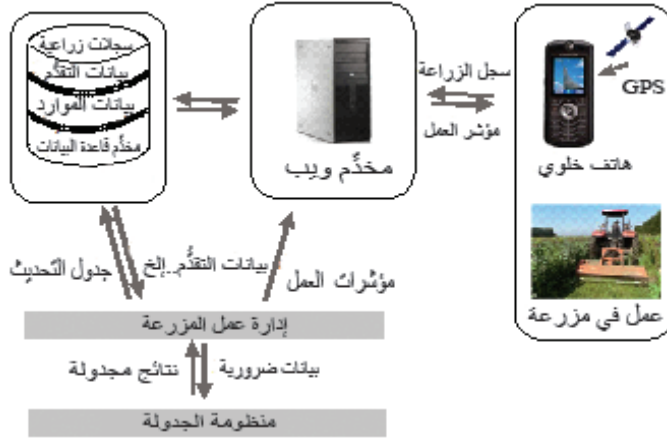
الموجود فيه. ويستجيب مخدم الويب للطلبات الواردة من الهاتف الخليوي ويرسل صفحات الويب إلى الهاتف. وتُشغَّل برامج آلية التواصل للبوابة العامة (Common Gateway Interface) (CGI) على مخدم الويب من أجل تسجيل بيانات المزرعة، وإظهار خريطة أراضيها، ومعالجة أخطاء المنظومة، وحفظ البيانات في قاعدة بيانات المخدم. ويُستعمل مستقبل الـ GPS الموجود في الهاتف الخليوي لرسم مخطط أرض المزرعة في الموقع المحدد بغية تحديد مكان المشغل. وتُستعمل خريطة الـ GIS، مع معلومات الموقع التي يعطيها مستقبل الـ GPS الموجود في الهاتف الخليوي، لتعريف أرض المزرعة التي يجري العمل فيها، إضافة إلى التحقق من كون رقم تعريف الأرض صحيحاً أيضاً. وقد جرى استعمال بعض البرمجيات المجانية لتلك الأغراض، منها Apache 2.0 (Linux) and PHP 5.1.6، وذلك في مخدم الويب وفي منصة دعم لغة البرامج CGI.

وتتألف البيانات المخزونة في مخدم قاعدة البيانات من سجلات العمل في المزرعة، وبيانات الموارد وتقديم العمل... إلخ. وتحتوي بيانات الموارد بالدرجة الأولى على الاسم والجودة والخواص والحالة، وتمثّل بيانات تقديم العمل حالة العمل المجدول لكل أرض مزرعة. واستُعملت حزمة البرمجيات MySQL 5.0.27 في تنفيذ مخدم قاعدة البيانات.

وتشتمل منظومة إدارة عمل المزرعة على آلية تواصل لنقل البيانات إلى منظومة الجدولة، ومنها بيانات تقديم العمل، وعلى إدارة البيانات في مخدم قاعدة البيانات، وخزن النتائج المُجدولة وإرسالها إلى المزارعين الذين يتعاملون مع الهواتف الخليوية. وتوافر إدارة عمل المزرعة أيضاً بعض الوظائف، مثل تحديث تصنيف الأرض وتغييرات الموارد... إلخ. ونظراً إلى أن منظومة إدارة عمل المزرعة مصممة للعمل من موقع ويب، يمكن الدخول إلى صفحات الويب في المخدم بواسطة الحاسوب أو الهاتف الخليوي.

وأما بيانات دخل منظومة الجدولة فهي البيانات الضرورية لحسابات الجدولة، وخرج المنظومة هو النتائج المُجدولة. وتحتوي منظومة الجدولة، وهي أهم مكونات تخطيط العمل، على وحدة جدولة في الزمن الحقيقي لتغيير الحالات غير الأكيدة، وعلى وحدة جدولة طويلة الأجل لدورة النمو السنوي لقصب السكر. لكننا نقصر

المناقشة في هذا البحث على وحدة الجدولة الطويلة الأجل لدورة النمو السنوي لقصب السكر. وقد كُتِبَ الرماز المصدري لحسابات الجدولة باستعمال اللغة ANSI C المعيارية في نظام التشغيل Mac OS X.



الشكل 1.3: منظومة إدارة أعمال مزارع متكاملة.

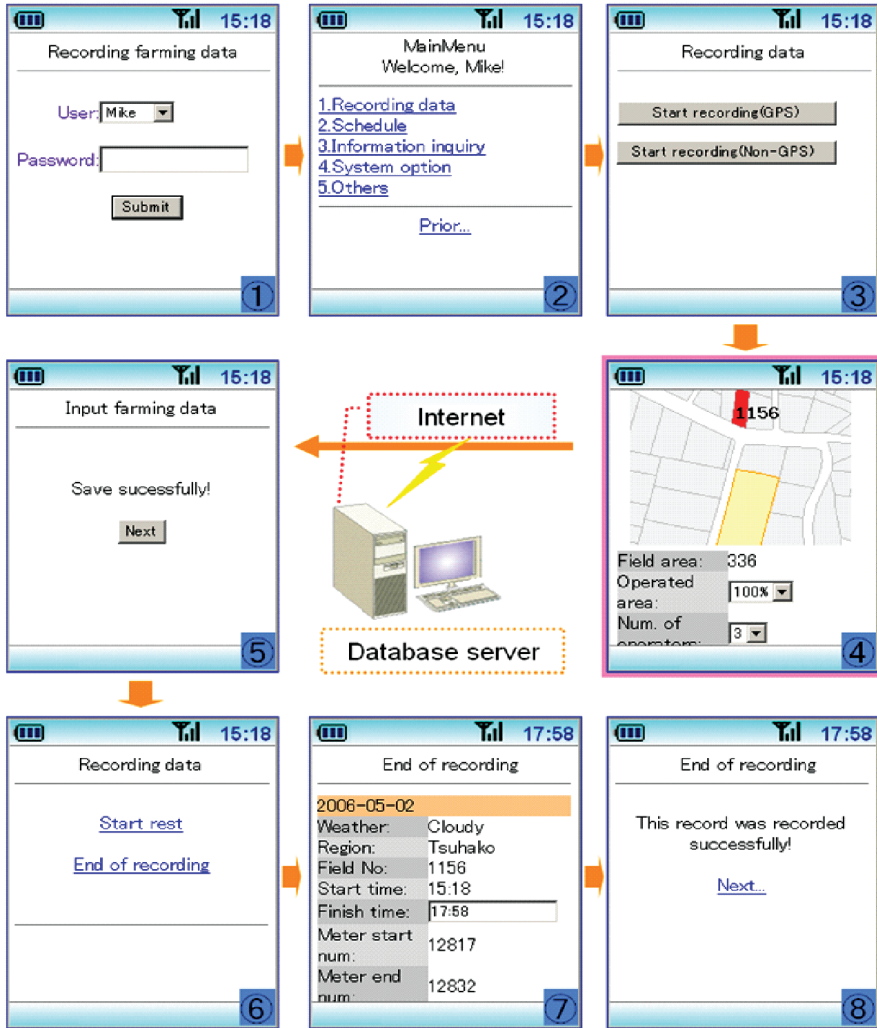
3.3 توثيق أعمال المزرعة

1.3.3 إدخال البيانات أعمال المزرعة

يُري الشكل 2.3 العملية الكاملة لتسجيل البيانات لأعمال المزرعة. الشاشة الأولى هي صفحة تسجيل الدخول إلى المنظومة، وفيها يحصل استيقان هوية المستعمل بناءً على اسم المستعمل وكلمة السر. تُختار بعدئذٍ لائحة الخيارات على الشاشة الثانية، فيفتح البرنامج شاشة أخرى لإدخال المعلومات عن موقع المزرعة من GPS المنظومة. والصفحة الآتية مخصصة لإدخال تفاصيل بيانات أعمال المزرعة مثل التاريخ والطقس وعدد العاملين وأرض العمل وأوصافه ومدته والآلات المستعملة. يُدخل وقت بدء العمل آلياً باستعمال ساعة الهاتف الخليوي الداخلية. وبعد إدخال البيانات، تُنقل إلى المخدم وتُخزن فيه، وفقاً للمبين في الشاشة الخامسة. وفي نهاية العمل في المزرعة، ينقر المشغل على زر نهاية العمل على الشاشة السادسة، فيُدخل حينئذٍ وقت الانتهاء آلياً. يُضاف إلى ذلك أنه يمكن تسجيل مدد تأخر العمل وتوقفاته الناجمة عن تعطل الآلات. ويمكن لصفحة الويب أن تظهر على جميع الأجهزة المتصلة بالإنترنت باستعمال أي متصفح HTML. وفي حالة نسيان

المزارعين إدخال السجلات لأعمال المزرعة، من الممكن إدخالها لاحقاً باستعمال هاتف خلوي أو حاسوب.

وبرغم أنه من غير المريح إدخال البيانات مباشرة باستعمال لوحة المفاتيح الصغيرة الخاصة بالهاتف الخلوي، فقد جعل إدخال البيانات سريعاً وسهلاً بواسطة البرنامج الذي يجلب المعلومات الخاصة بالأرض التي يجري العمل فيها من مخدّم قاعدة البيانات، ويظهرها ضمن لائحة الخيارات.



الشكل 2.3: عملية تسجيل البيانات الأعمال المزرعة.

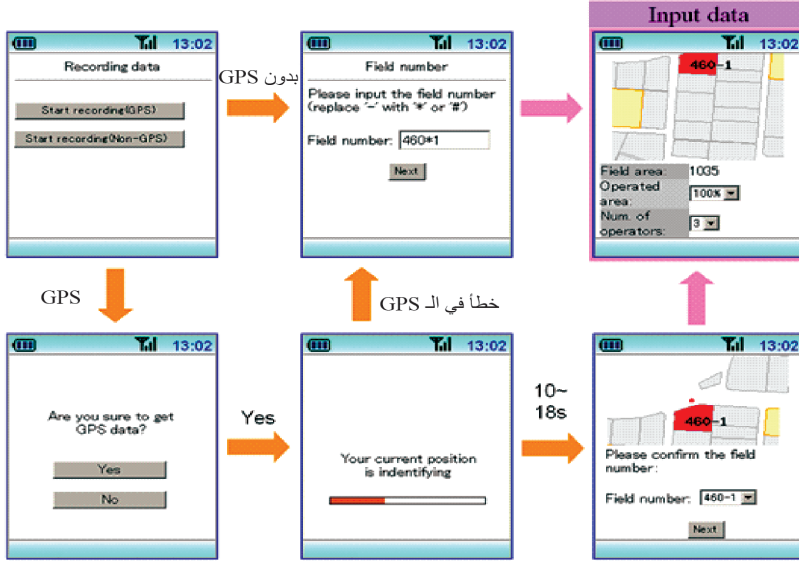
يُضاف إلى ذلك أنه يُستعمل لتحديد أرض المزرعة المعنية برنامج إظهار خريطة المعلومات الجغرافية، باستعمال معلومات الموقع المأخوذة من GPS الهاتف الخليوي، مع التحقق من أن رقم هوية الأرض صحيح في السجل. إن هاتين الوظيفتين المذكورتين آنفاً تحسنان التحقق من صحة البيانات المقدّمة من الهاتف الخليوي.

2.3.3 تحديد هوية أرض المزرعة التي يجري العمل فيها باستعمال الـ GPS

في اليابان، معظم أجهزة الهاتف الخليوي مزوّدة بمستقبل GPS. وتُستعمل معلومات الموقع التي يوفرها الهاتف الخليوي عموماً لخدمات أخرى تقدّمها شركات الهاتف الخليوي، منها الملاحة في الطرق وتحديد مواقع الدكاكين والمتاجر. لكن الهاتف الخليوي لا يحتوي على برامج مبنية ضمنه لإظهار إحداثيات الموقع الذي يوجد فيه على الشاشة. لذا نحصل على إحداثيات الموقع في منظومتنا من برنامج الـ CGI. يجري الدخول إلى مخدّم الويب حين النقر على زر البدء الموجود على شاشة الهاتف الخليوي، وذلك لتحديد الموقع بواسطة الـ GPS. ويحصل ذلك بواسطة أمر CGI في المخدّم. ويمكن هذا الأمر الهاتف الخليوي من تحصيل المعلومات من قمر الـ GPS الصناعي، ثم تُنقل بيانات الـ GPS إلى مخدّم الويب في غضون 10-18 ثانية. ثم يحسب البرنامج CGI، المكتوب بلغة الصفحة الشخصية الرئيسية (Personal Home Page) (PHP) على المخدّم، إحداثيّتي الطول والعرض اعتماداً على معلومات الـ GPS.

ويبحث برنامج الـ CGI في قاعدة بيانات الـ GIS عن المزرعة ذات الإحداثيات المحسوبة. وإذا عثر على المزرعة المعنية في قاعدة البيانات، أظهر خريطتها مع المنطقة المحيطة بها. لكن نظراً إلى وجود خطأ في معلومات الموقع المأخوذة من الـ GPS، جعلت مساحة المنطقة المحيطة 140 متراً مربعاً. وتظهر أرقام تعريف المزرعة على الخريطة فوراً. وبذلك يستطيع المشغل بسهولة تحديد المزرعة التي يجري العمل فيها، وإدخال رقم تعريفها من خلال لائحة الخيارات. وإذا لم توجد المزرعة في قاعدة البيانات بسبب خطأ معلومات الـ GPS، أو بسبب عدم مقدرة الهاتف الخليوي على الاتصال مع قمر الـ GPS الصناعي نتيجة لضعف الإشارة اللاسلكية الواردة منه، طلب برنامج الـ CGI من المشغل إدخال رقم المزرعة مباشرة عبر لوحة مفاتيح الهاتف الخليوي.

يُري الشكل 3.3 العملية الكاملة لاستعمال وظيفة الـ GPS المبنية في الهاتف الخليوي.



الشكل 3.3: عملية تحديد أرض المزرعة التي يجري العمل فيها باستعمال بيانات الـ GPS.

3.3.3 تحميل ملف خريطة أرض المزرعة

يُظهر متصفح الهاتف الخليوي الصور بصيغة الـ PNG (المخططات البيانية لشبكة محمولة (Portable Network Graphics)). وباستعمال إحداثيات الموقع المحدد بواسطة مستقبل الـ GPS في الهاتف الخليوي، تُولّد خريطة المنطقة المحيطة بالمزرعة بصيغة الـ PNG في مخدّم الويب.

تُولّد الخريطة الرقمية لأراضي المزارع التي تُديرها الشركات الزراعية الكبرى على شكل ملف من الخرائط للورقية، وذلك باستعمال البرمجيات أرك فيو (ArcView)، وهي رزمة برمجيات GIS تُستعمل للتعامل مع البيانات الجغرافية (ESRI, 1998, 2004). ثم تُحوّل هذه الخريطة إلى صورة الـ PNG في مخدّم الويب بحجم محدّد يُلائم عرض وارتفاع شاشة الهاتف الخليوي. ثم ترسل الصورة إلى الهاتف الخليوي. ويساوي الحجم الوسطي لملف صورة الخريطة هذه 400 بايت، والقيمة العظمى لذلك الحجم هي 800 بايت. يؤدي هذا الحجم الصغير إلى تقليص التأخير في إرسال ملف صورة خريطة المزرعة عبر الإنترنت.

4.3.3 قاعدة بيانات للعمل في المزرعة

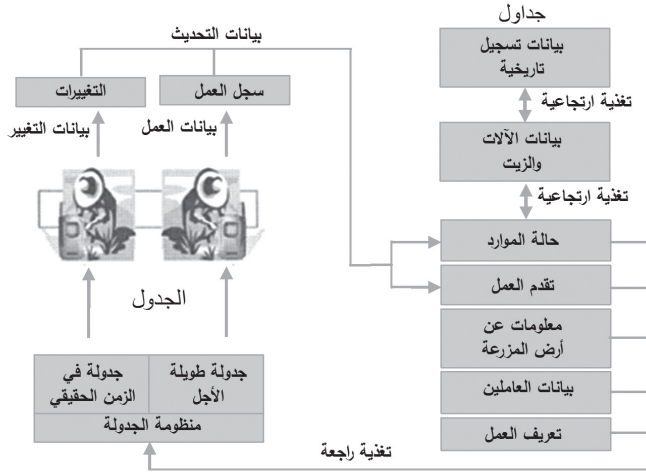
تُخزن البيانات للعمل في المزرعة التي يجري تجميعها بواسطة الهاتف الخليوي في مخدم قاعدة البيانات عبر الإنترنت. إن معظم أنواع الجداول اللازمة لقاعدة بيانات زراعة قصب السكر معرّفة سلفاً في مخدم قاعدة البيانات، لذا ليس على المزارعين تعديل أغراض قاعدة البيانات إلا حينما يغيّروا إجراءات تسجيل الأعمال في المزرعة. وتتيح هذه المنظومة للمزارعين استعمال الهواتف الخليوية لتعديل جداول قاعدة البيانات في المخدم من جهتهم. وإذا أرادوا إدخال بيانات إضافية لأعمال في المزرعة ليست موجودة في القاعدة، ولتكن كمية السماد مثلاً، أمكنهم إلحاق بند جديد بالقاعدة يخصّ كمية السماد من لائحة خيارات على شاشة الهاتف الخليوي. وعندما يلحق هذا البند الجديد بقاعدة البيانات في المخدم، تُظهر شاشة الهاتف الخليوي الرئيسية الخاصة بتسجيل البيانات عن أعمال المزرعة صندوق دخل جديد من أجل قبول البيانات.

تتألف قاعدة بيانات منظومة إدارة عمل المزرعة المتكاملة من الجداول الآتية عموماً (الشكل 4.3):

1. التغيّرات: تغيّرات بيئة العمل في المزرعة (الطقس، تعطّل الآلات... إلخ) أثناء العمل.
2. سجل العمل: بداية العمل ونهايته، والمساحة المشغول فيها، والطقس، وعدد الموارد المستعملة... إلخ.
3. حالة الموارد: حالة الموارد الراهنة (التوافر).
4. تقدّم العمل: تقدّم العمل الراهن (العمل المنجز، العمل غير المنتهي، النسبة المئوية المنجزة من العمل الراهن) لكل مزرعة.
5. معلومات عن أرض المزرعة: البيانات الجغرافية (خطوط الطول والعرض)، والمنطقة والمساحة، والمالك، ونوع محصول المزرعة.
6. معلومات عن العاملين: الأسماء والصفات وشهادات قيادة الآليات.
7. تعريف العمل: الأعمال التي يجب إنجازها في كل أرض مزرعة، ووصفها وأفضليتها والوقت الملائم للعمل.

8. معلومات الآلات والزيت: اسم ونوع وسعر الآلة والزيت، وكفاءة عملها، وسرعة حركتها.

9. بيانات تاريخية عن التسجيل: بيانات تاريخية لتسجيل آلة جديدة وإصلاح الآلات المتعطلة.



الشكل 4.3: قاعدة بيانات لمنظومة إدارة عمل المزرعة المتكاملة.

ويبين الشكل 4.3 العلاقة بين الجداول أيضاً. تتطلب منظومة الجدولة بيانات عن الآلات والزيت والأرض والعاملين وتعريف العمل وحالة الموارد. وفي بداية يوم العمل، يعود المشغل إلى الجدول الذي حسبته منظومة الجدولة الطويلة الأجل. وحينما تحصل بعض التغييرات في أثناء العمل، يُحسب الجدول من قبل منظومة الجدولة في الزمن الحقيقي، ويُعاد إلى المشغلين في الوقت المتاح. وتُسجَل بيانات كل من سجل الأعمال والحالات غير الأكيدة بواسطة الهاتف الخليوي. وتبعاً للبيانات المسجلة، تُحدَّث المنظومة آلياً جداول حالة الموارد وتقدّم العمل.

وثمة مناقشة تفصيلية في هذا الفصل لبيانات العمل اليومي، مثل وقت ابتداء وانتهاء العمل والمساحة المشغول فيها والموارد المستعملة.

5.3.3 نتائج ومناقشة

اختير هاتف خلوي من طراز AU-A5405SA من شركة الهاتف KKDI ليكون جهازاً نقلاً تجريبياً. يبلغ عمر بطارية هذا الجهاز 210 ساعات، ويمكن

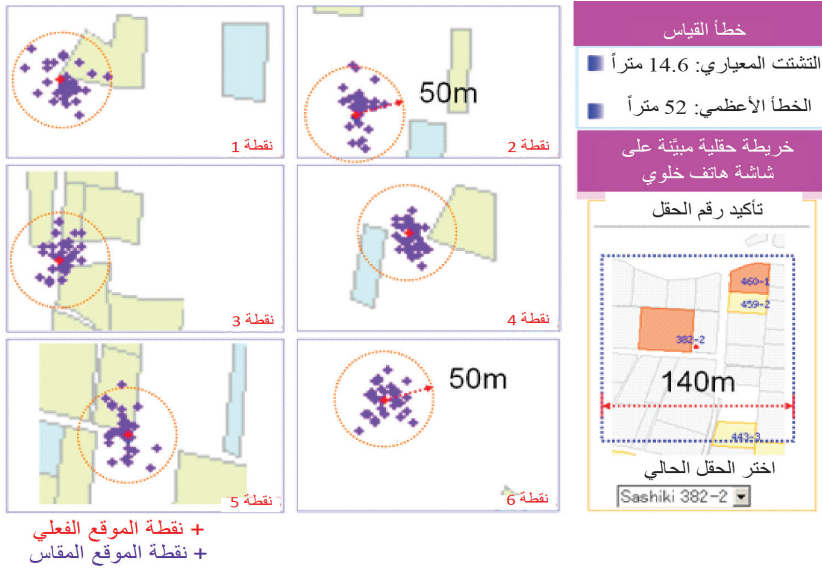
بواسطته الدخول إلى صفحات ويب HTTP باستعمال متصفحٍ مبني ضمنه، هو متصفحُ الهاتف النقال (KDDI-ST23) 6.2.05 (الإصدار العام).

واختُبرت المنظومة من قِبل شركات إنتاج قصب السكر الزراعية الكبرى في قريتي ساشيكي (Sashiki) وناكاغوسوكو (Nakagusuku) في مقاطعة أوكيناوا. ومع أن المنظومة يمكن أن تزود المستعمل بآلية التواصل بكل من اللغتين اليابانية والإنجليزية، اختيرت الواجهة اليابانية لكونها أكثر ملاءمة للمزارعين المحليين. وفي صيف عام 2005، سجلت الشركة الزراعية في قرية ناكاغوسوكو عمل المزرعة المتعلق بإدارة خصوبة الأرض، وسجلت الشركة في قرية ساشيكي عملية الحصاد خلال فترة القطاف من 20 كانون الأول/ ديسمبر عام 2005 حتى 6 شباط/ فبراير عام 2006. وجرى التحقق من تعريف المزارع من قبل الشركتين الزراعتين، وأُجريت دراسة مزايا ومثالب هذه المنظومة في الاستعمال الفعلي من خلال مقابلة العمال في الشركة الزراعية في قرية ساشيكي. ولدى الشركة الزراعية في قرية ناكاغوسوكو، شغّل المؤلف هاتفاً خلويّاً مع العمال، وفي قرية ساشيكي، قام عامل مساعد بتشغيل الهاتف الخلوي مع مشغّل الحصاد.

وقمنا بتقدير خطأ GPS الهاتف الخلوي بإجراء تحليل إحصائي لدقة الـ GPS. فقد قيست إحداثيات نقاط ثابتة معروفة المواقع بواسطة GPS الهاتف. ويمكن الحصول على خطوط العرض والطول لتلك النقاط الثابتة من الخريطة من موقع الويب أيضاً. وباستعمال وظيفة الـ GPS الداخلية في الهاتف الخلوي، حصلنا على بيانات GPS في ست مرات بفواصل زمنية مقدار كل منها دقيقتان. وأُجريت القياسات في ستة أيام مختلفة. ويُري الشكل 5.3 نتائج التجربة. لقد بلغ الانحراف المعياري للخطأ في قياس الموقع 14.6 متراً. ونظراً إلى أن خطأ الموقع عشوائي وذو توزّع احتمالي طبيعي، فإن 95٪ من إحداثيات المواقع المقاسة كانت ضمن \pm ضعف التشتت المعياري. وأظهر الهاتف خريطة المزرعة مع المنطقة المحيطة بها ضمن مساحة تساوي 140 متراً مربعاً.

وفي التجربة العملية، لم يكن ثمة تعريف غير صحيح لرقم المزرعة أثناء فترة التجربة لدى الشركة الزراعية في قرية ناكاغوسوكو. وكانت النتيجة هي نفسها لدى الشركة في ساشيكي حين استقبال إشارة القمر الصناعي. لذا تُعتبر دقة تحديد الموقع بواسطة الهاتف الخلوي كافية لتأكيد موقع المزرعة التي يجري العمل فيها.

إلا أنه لم يكن من الممكن التحقق من المزرعة التي يجري العمل فيها بواسطة الـ GPS لدى الشركة الزراعية في ساشيكي في بضعة حالات. وحصل ذلك لأنه لم يمكن كشف إشارة القمر الصناعي. لقد عمل العامل المساعد الذي شغل الهاتف الخليوي دائماً في المزرعة خارج حجرة قيادة الحصادة وبعيداً عن الأبنية المعيقة للإشارة. طبعاً، يجب البحث عن العوامل التي أعاقت إشارة القمر الصناعي، لكن العامل المساعد أدخل في هذه الحالة رقم المزرعة عبر لوحة مفاتيح الهاتف الخليوي. في الشكل 3.3، حُذفت الأشكال التي تحتوي على رقم المزرعة من الخريطة عمداً من أجل تقليص الطباعة اللازمة للنشر. وتمكّن العامل المساعد بسهولة من العثور على المزرعة التي سيجري العمل فيها من الخريطة ورقم المزرعة.



الشكل 3.3: دقة وظيفة قياس GPS الهاتف الخليوي.

لقد دُرست مزايا ومثالب هذه المنظومة من خلال مقابلة المستعملين. وفي ما يخص المثالب، فقد تجلّت في الارتباك أثناء الطباعة على لوحة المفاتيح الصغيرة وحذف بيانات الدخل بسبب انعدام الخبرة. إلا أنه لم تحصل أثناء فترة الحصاد سوى ثلاثة حذوفات وإدخال خاطئ واحد للبيانات.

واستغرق الـ GPS مدة 10-18 ثانية لتحديد موقع أرض المزرعة، واستغرق إدخال كامل بيانات العمليات في المزرعة 1.5-2.0 دقيقة تقريباً باستعمال لوحة مفاتيح الهاتف الخليوي. وكان دائماً ثمة عمال مساعدون يشغلون الهاتف الخليوي في أثناء

الحصاد. ولما كان من الممكن لهم استقطاع جزء من وقت عملهم لإدخال البيانات، فإنهم لم يجدوا أي متاعب في التعامل مع الهاتف الخليوي. إلا أنه في حالة وجود مشغل الآلات وحده في المزرعة، كان عليه التعامل مع كل من الآلة الزراعية والهاتف الخليوي. إننا نقوم باستمرار بإحصاء مزايا ومثالب هذه المنظومة بالتعاون مع الشركة الزراعية في قرية ساشيكي.

أما مزايا هذه المنظومة فهي تحديد موقع أرض المزرعة، ودقة البيانات، وإلغاء عملية إدخال البيانات بواسطة الحاسوب. في الطريقة المعتادة للتسجيل اليدوي على دفتر، لم يكن على المزارعين إدخال البيانات التي سجلوها أثناء العمل في المزرعة إلى الحاسوب بعد عودتهم إلى مكاتبهم. بل كانت الشركات الزراعية تستأجر أشخاصاً لفعل ذلك. وقد ألغت منظومتنا ذلك، مؤدية إلى تقليص التكاليف.

حين عرض المنظومة على الشركات الزراعية الكبرى، يجب أخذ التكلفة في الحسبان. يمكن تجزئة تكلفة المنظومة إلى تكاليف بنائها، وتكاليف تطوير الخرائط الرقمية، وتكاليف تشغيلها. في ما يخص بناء المنظومة، لا تترتب سوى تكاليف العتاديات ونظام تشغيل المخدم. ومن الممكن تقليص التكلفة الأولية تلك إذا استعمل نظام تشغيل مجاني من مثل لينكس (Linux). وفي المرحلة الأولى من التطوير، يجب إنشاء خريطة رقمية للمزرعة باستعمال منظومة المعلومات الجغرافية GIS. ويتضمن هذا العمل مسح خرائط ورقية وإخراجها على شكل ملفات صورة، ورسم أراضي المزارع على شكل مصلعات على الصورة، وخزن الخريطة بصيغة ملف. وقد يتطلب ذلك الكثير من الساعات لتحقيقه. صحيح أننا استعملنا ArcView لإنشاء خريطة الـ GIS، إلا أن ثمة رزم برمجيات GIS مجانية من مثل TNTlite واسعة الاستعمال في العالم حالياً، وتتصف بتوافق جيد مع ملف الصورة. إذا أنشئت خرائط الـ GIS باستعمال برمجيات مجانية، أمكن للشركات الزراعية الحصول على الخرائط الرقمية بتكلفة منخفضة.

وفي مقاطعة أو كيناوا، تمتلك بعض البلديات خرائط الأراضي الزراعية الرقمية التي توفر معلومات عن استعمال الأراضي. ونظراً إلى أن قانون التعويض عن الدخل سوف يُطبَّق على مزارعي قصب السكر في عام 2007، فإنه يوجد لدى البلديات المحلية اهتمام كبير في رعاية شركات زراعية قادرة على الإنتاج المستقر لقصب السكر. لذا ثمة إمكانية كبرى لقيام البلديات المحلية باستعمال تلك الخريطة الرقمية في منظومتنا. وفي هذه الحالة، سوف تكون الشركات الزراعية قادرة على الحصول على الخريطة الرقمية مجاناً.

ومع أن برنامج الزراعة يُشجّع إدارة المزرعة الفعالة والمستقرة من خلال الإدارة الكمية (Quantitative Management)، فإن تطبيق نهج من هذا النوع يتطلب قاعدة بيانات أساسية لمنظومة المزارع. والتقنية المستعملة في قاعدة بياناتنا تتيح تخزين كمية كبيرة من البيانات ومراعاة البيانات التي يعرفها المستعمل تبعاً للظروف المناطقيّة. وبنية البيانات في قاعدة بياناتنا، ومنها قاعدة بيانات المزارع وخريطتها والأشياء التي يجب أخذها في الحسبان في أثناء العملية الزراعيّة، قابلة للتطبيق على إنتاج محاصيل أخرى من مثل الرز والقمح والخضار. ومع ازدياد عدد مستعملي الهاتف الخليوي، ثمة إمكانية كبيرة لاستعمال هذه المنظومة من قبل المزارعين عموماً من أجل جمع المعلومات في أثناء إنتاج قصب السكر والمحاصيل الأخرى.

4.3 الإدارة القائمة على الويب

يمكن للمزارعين استعمال البيانات المجمّعة لمصلحة الإدارة الفعالة للعمل. فمثلاً، من الممكن طباعة سجل حصاد قصب السكر في 9 آذار/ مارس عام 2005 من موقع الويب وفقاً للمبيّن في الشكل 6.3. وتُمكن مشاهدة هذا السجل الزراعي باستعمال متصفح الإنترنت. أي إن المستعمل النهائي يستطيع طباعة السجل الزراعي من دون أن يكون عليه استعمال برمجيات إضافية.

التاريخ	الإثنين 2006/1/16
الطقس	مشمس
المنطقة	فوسوزاكي
رقم الحقل	338
مالك الحقل	*****
وصف العمل	حصاد
اسم الآلة	Toft 2001
عدد المشغّلين	3
مساحة الأرض	1552
المساحة المشغول فيها	1552
وقت البدء	7:55
وقت الانتهاء	12:04
مدة التعطّل	0:11
مدة العمل	3:58
عدد الأكياس المحصودة	18



الشكل 6.3: سجل المزرعة لأعمال القطف (مطبوع من الإنترنت).

ويُنقل الجدول الموّلد إلى صيغة معيّنة ويُخزن في مخدّم قاعدة البيانات (انظر

الشكل 1.3). ومن مخدم قاعدة البيانات، تقرأ برامج ال CGI جدول العمل المنشأ بالمحاكاة، وتظهره على شاشة الهاتف الخليوي أو على واجهة التواصل مع الويب، وفقاً للمبين في الشكل 7.3. ومن الممكن تحديد المدة الفاصلة بين بدء العمل وانتهائه، وعدد العمال ورقم الأرض في جدول العمل. ويتضمن الجدول التاريخ ورقم المنطقة والمزرعة، ووصف العمل والآلات والعمال ووقت البدء والانهاء المقررين.

5.3 الخلاصة

بناءً على متطلبات تخطيط أعمال إنتاج قصب السكر في المزارع، طوّرتنا منظومة إدارة متكاملة لعمل المزرعة مع تركيز الاهتمام على الإدارة الفعالة لعمل المزرعة اليومي.

وجرى التحقق من الإمكانية التقنية والاقتصادية لاستعمال الهواتف الخليوية المزودة بمستقبلات GPS في المنظومة. وقد وُجد أن التشتت المعياري للخطأ في تحديد الموقع يساوي 14.6 متراً، وهذا يدل على أن دقة وظيفة GPS الهاتف الخليوي كافية لتحديد المزرعة التي يجري العمل فيها. ويتطلب إدخال مجموعة من سجلات البيانات عن أعمال المزرعة نحو 1-2 دقيقة باستعمال الهاتف الخليوي. وكانت نفقات الاستثمار في بناء وصيانة المنظومة معقولة لشركات إنتاج قصب السكر أو للمزارعين العاديين. واستُعملت البيانات المسجلة من أجل تخطيط أعمال في المزارع ملائمة بواسطة منظومة الجدولة. ونُفذت إدارة عمل المزرعة اليومي بسلاسة باستعمال واجهة تواصل مع الويب.

Work Schedule

Please select date duration

2007 Mar 15 ~ 2007 Mar 21

Worker: --

Field No: --

Display

Date	Region	F-no	Work Name	Machines	Workers	Start time	End time
2007-03-15	Nakaicho	333	Plowing	Tractor 80	Nakamura	09:00:00	12:00:00
	Nakaicho	66-2	Harvesting	Harvester 1	Tomi, Aguni	09:00:00	12:30:00
	Nakaicho	365	Harvesting	Harvester 1	Tomi, Aguni	13:30:00	16:40:00
	Nakaicho	447	Harvesting	Harvester 1	Tomi, Aguni	17:00:00	18:00:00
2007-03-16	Nakaicho	318	Plowing	Tractor 80	Tomi	08:00:00	09:00:00
	Nakaicho	363	Harvesting	Harvester 1	Tomi, Aguni	09:00:00	10:10:00
	Nakaicho	418	Harvesting	Harvester 1	Tomi, Aguni	10:20:00	12:00:00

Page 1/5

Next page

[1] • 2 • 3 • 4 • 5

7 Columns Display

الشكل 7.3: واجهة تخاطب إدارة عمل المزرعة.

4- نمذجة تسلسل عمل المزرعة

1.4 تقديم

بغية صياغة مسألة تخطيط عمل المزرعة، من المفيد نمذجة العمل فيها بواسطة أدوات نمذجة رياضية. إن مخطط المهمة (Task Graph)، (Djordjevic, 1996) و تقنية مراجعة وتقييم البرنامج (Program Evaluation and Review Technique) (PERT) (Cottrel, 1999) طريقتان شهيرتان لنمذجة مسألة الجدولة. فمخطط المهمة هو مخطط دوري موجّه، ويُستعمل عادة لتمثيل علاقة الأسبقيات بين المهام في مسألة الجدولة. والمخطّط بسيط، إلا أنه لا يتضمّن معلومات عن موارد مثل الآلات واليد العاملة. وتتطلب خوارزميات الجدولة مخططات مهام ومعلومات عن الموارد على شكل بيانات دخل لحساب الجدول الأمثلي. وعادة، تُمكن معالجة المهمة بحاسوب، وتكون مدة المعالجة محدّدة سلفاً. وتُستعمل لمثل هذه المسائل عموماً خوارزمية جدولة لائحة الأسبقيات (Priority List Scheduling Algorithm)، (Sinnen & Sousa, 2001). وتقنية PERT هي نموذج لإدارة المشروع وطريقة لتحليل مخطط انسياب المهمة لإكمال المشروع برمته. وهي مفيدة لمسائل الجدولة الشائعة. إلا أن نمذج مخطط المهمة ومخطط PERT ليسا ملائمَيْن للعمل في المزارع، لأن مدة المعالجة في مهمة معيّنة تتغيّر مع تغيّر الموارد المتاحة. إن نموذج جدولة العمل في المزارع يجب أن يكون قادراً على تمثيل التغيّرات في فترة المعالجة.

ونظراً إلى أن الطريقتين الشائعتين المذكورتين آنفاً لا يمكن أن تُستعملا على نحو مُرضٍ في نمذجة تسلسل العمل في مزارع موزّعة جغرافياً، فقد طوّرنا نموذجاً جديداً باستعمال شبكة بتري. وتحقّقنا من إمكان استعمال نموذج شبكة بتري المتقطّعة بمحاكاة تخطيط عمل المزرعة الذي اقترحه (Guan et al., 2006a)، ووجدنا أن المزارعين يستطيعون فهم تفاصيل العملية العمل في المزارع بسهولة من وصفٍ بياني بواسطة مخططات انسياب العمل. إلا أن شبكة بتري بسيطة، ولا تستطيع نمذجة كامل الجدول إلا في دورة نمو المحصول فقط. وتعقد الطبيعة العشوائية للطقس، والعوامل الأخرى، مثل الحوادث التي تؤدّي إلى تعطل الآلات، نمذجة العمل في المزارع. وعندما تظهر حالات غير أكيدة، يجب تغيير مكوّنات شبكة بتري من أجل تكييف النموذج مع التغيّرات البيئية. ونتيجة لذلك، لا تكون شبكة بتري البسيطة

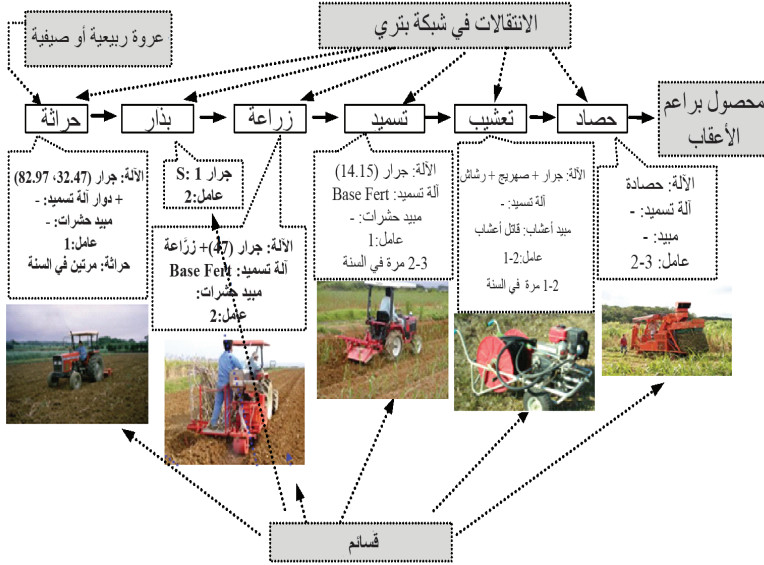
ملائمة لنمذجة تخطيط العمل الواقعي في المزرعة، ولذا تحتاج إلى تحسين كي تأخذ الحالات غير الأكيدة في الحسبان.

وتشتمل الأعمال في المزرعة على أحداث متقطعة وعلى عمليات مستمرة. فالحالات غير الأكيدة مثل تعطل الآلات، هي أحداث متقطعة. ومن ناحية أخرى، عندما يبدأ العمل في المزرعة، تنشأ عملية متواصلة يحكمها معدل العمل الذي يتحدد بإمكانات اليد العاملة وبفعالية الآلات، أو بكليهما. وهذا يُبين أن تلك الأحداث المتقطعة والعمليات المتواصلة تلائم نموذج شبكة بتري المتقطعة والمتواصلة الهجينة. وقد طوّر عدّة باحثين نماذج شبكات بتري في السنوات الأخيرة (Dotoli et al., 2008; Febbraro & Sacco, 2004; Kaakai et al., 2007)، لكن حتى الآن، قلّة من الباحثين هم الذين قدّموا نموذج شبكة بتري لتمثيل العملية الزراعية، وليس ثمة بحث في شبكات بتري الهجينة من أجل العمل في المزارع.

في هذا المقطع، سوف نصمّم نموذج شبكة بتري هجينة لنمذجة تسلسل العمل في المزرعة، ونستقصي منطقية النموذج وقابلية تطبيقه عملياً.

2.4 نمذجة انسياب العمل في المزرعة بشبكة بتري هجينة

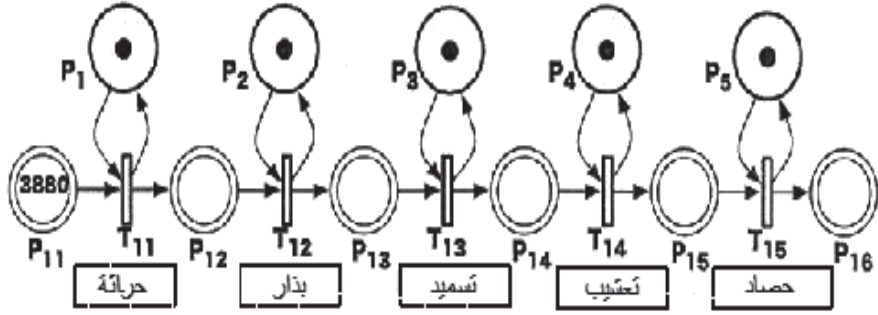
على سبيل المثال، بُني النموذج من أجل وصف تسلسل العمل في إنتاج قصب السكر الذي يُزرع على شكل ثلاث فئات من المحاصيل: عروة ربيعية تُحصد عند أول إمطار بعد الزرع في الربيع، وعروة صيفية تُحصد عند الإمطار الثاني بعد الزرع في الصيف، ومحصول براعم أعقاب القصب الذي يُجنى عند أول إمطار بعد نمو البراعم بعد أن تكون أرض القصب قد حُصّدت. ومعظم العمل في المزرعة لهذه الأصناف من المحاصيل يكون متشابهاً في كل مزرعة. وتشتمل أعمال المزرعة الرئيسية لعروة المحصول الربيعية على الحرثة والبذار والتسميد والتعشيب والحصاد. ويتطلب كل عمل في المزرعة تخصيص موارد، مثل الآلات واليد العاملة. ولا يمكن بدء العمل التالي إلا بعد اكتمال العمل السابق. وتُعرّف عملية أعمال المزرعة بأنها انتقال، أو شرط، أو حالة أرض المزرعة أو مورد باعتبارها موقعاً، والموارد مثل اليد العاملة أو الآلات تُعتبر قسائم في نموذج شبكة بتري. ويُري الشكل 1.4 العلاقات وانسياب العمل في إنتاج قصب السكر.



الشكل 1.4: انسياب العمل في إنتاج قصب السكر.

1.2.4 نمذجة تسلسل أعمال المزرعة في إحدى المزارع

يُري الشكل 2.4 نموذج شبكة بتري هجينة لتسلسل العمل في مزرعة. تمثل الدوائر P_{1i} و P_{2j} ، وهي مواقع، حالة موارد المزرعة. ويمثل العدد الحقيقي في الموقع P_{1i} مقدار العمل في المزرعة. ويقترن الموقع P_{1i} بمدة انتظار حتى تنفيذ العمل التالي. وتشير القوائم الممثلة بنقاط إلى الموارد. ويُعبّر الانتقال T_{1i} ، الممثل بمستطيل أو قضيب، عن تنفيذ العمل. وتختلف القوائم في P_1 عن تلك التي في P_2 لأن العاملين في المزرعة في الحالتين مختلفان. ووفقاً لقواعد القدح في شبكة بتري، تُؤهل الانتقالات للتنفيذ عندما تحقق القوائم شرط القدح، أي إن جميع مواقع الدخل تمتلك ما يكفي من القوائم المحددة سلفاً. وهذا يتضمن أن الزراعة ذات الصلة بذلك سوف تُجرى حين تحقيق شروطها ومتطلباتها من اليد العاملة والآلات. ويمكن لشروط الزراعة هنا أن تتخذ كثيراً من الصيغ منها تبلل الأرض ودرجة نمو المحصول ونضجه والمدة الزمنية وحالة الموارد... إلخ. وتُقابل مدة العمل الزراعي وقت قدح انتقال ما. وحين اكتمال العمل [المطلوب] في المزرعة، تتحوّل أرض المزرعة إلى حالة جديدة، وتحرّر اليد العاملة والآلات لتكون جاهزة لأعمال أخرى.



الشكل 2.4: نموذج شبكة بترى هجينة لانسياب العمل في المزرعة في إنتاج قصب السكر.

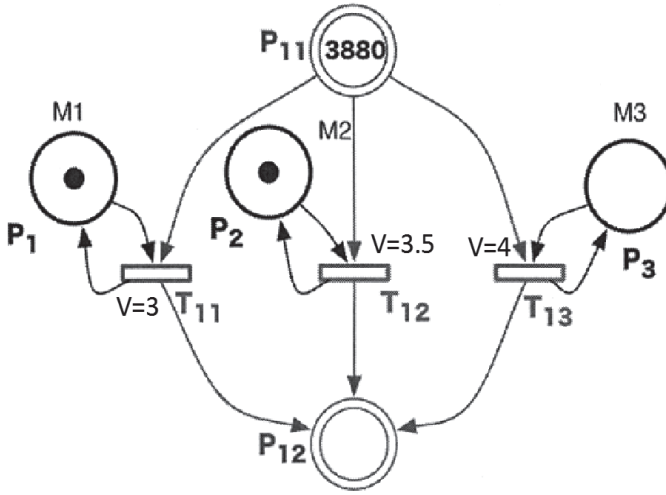
في الشكل 2.4، تشير P_{11} إلى أن أرض المزرعة جاهزة لعمل الحرث. وأثناء تنفيذ العمل التالي بواسطة الموارد المتاحة في P_1 ، تتناقص القيمة في P_{11} ، في حين أن تلك التي في P_{12} تزداد. وحين اكتمال الحرث، تصل القيمة في P_{11} إلى 0، وتصل تلك التي في P_{12} إلى 3880، وتحرر الموارد في P_1 . وبعض أعمال المزرعة عملياً، مثل التسميد لا تُجرى فوراً بعد الزرع. بل إن عمل التسميد يُجرى في فترة معينة تبعاً لنمو المحصول. وفي نموذج بترى الحالي، تُقرن مدة الانتظار بالموقع. لذا لا يمكن للعمل التالي T_{12} أن يبدأ فوراً لأن الموقع P_{12} ليس متاحاً برغم كون قسيمة أكبر من 0. وتؤهل حالة الموقع P_{12} وتصبح جاهزة للعمل التالي بعد فترة الانتظار. وعلى هذا النموذج الأولي يقوم النموذج المتكامل للمزارع المتعددة في الشركة الزراعية الكبيرة (Guan et al., 2006a).

2.2.4 عمل المزرعة المتعددة الآلات

تمتلك الشركات الزراعية الكبرى آلات متنوعة للقيام بالأعمال الزراعية في مزارعها ضمن ظروف مختلفة للموقع. لذا يُنفذ العمل في كل مزرعة باستعمال آلات مختلفة. على سبيل المثال، يمكن إجراء التسميد بواسطة جرار استطاعته تساوي 15 أو 32 أو 47 حصاناً بخارياً أو أكثر. وعموماً، يقوم المزارعون بتنفيذ العمل الزراعي بألة واحدة أو أكثر تبعاً للخبرات الشائعة. وفي حالة تعدد الآلات، تبدأ تلك الآلات العمل في أوقات مختلفة، ولذا فإن معدل إنجاز العمل الزراعي يعتمد على الآلات المخصصة له. يُري الشكل 3.4 نموذج العمل المتعددة الآلات.

في هذا الشكل، تمثل الانتقالات الثلاثة نفس المهمة التي يجري تنفيذها

بتشكيلات مختلفة من الموارد M_1 و M_2 و M_3 . ثمة مجموعتان من الموارد المتاحة لنفس المهمة في أرض مزرعة مساحتها 3880 متراً مربعاً. وتتضمن مجموعة الموارد الآلات واليد العاملة اللازمة للعمل. وسرعة عمل الموارد M_1 و M_2 و M_3 تساوي 3 m^2/min للمورد الأول، و 3.5 m^2/min للثاني، و 4 m^2/min للثالث. وتساوي مدة هذا العمل 9.95 ساعة إذا استعمل M_1 و M_2 في نفس الوقت. لكن إذا لم تُخصَّص قسيمة لـ P_2 ، فإن مدة العمل سوف تساوي 21.56 ساعة. وبالمثل، يمكن لهذا النموذج أن يصف عملاً زراعياً متعدد الآلات تعتمد فيه سرعة العمل على الموارد المخصصة.



الشكل 3.4: عمل في مزرعة متعدد الآلات.

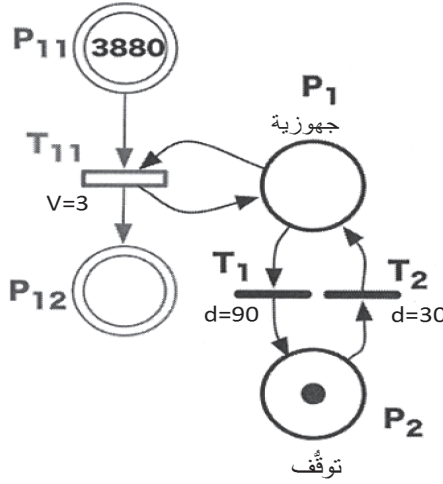
3.2.4 نمذجة التوقيّات في العمل في مزرعة

تتضمن مدة توقّف العمل المدة المستهلكة في الحالات غير الأكيدة، مثل تعطل الآلات والطقس الرديء وغيرهما. وتُتمدج إجراءات العمل والتوقيّات وفقاً للمبني في الشكل 4.4. في هذا الشكل، يمثّل الانتقال المتواصل T_{11} تنفيذ العمل في المزرعة إذا كانت ثمة قسيمة في الموقع المتقطع P_1 حيث تشير إلى أن المورد جاهز للتخصيص. في البداية، تكون المنظومة في حالة توقّف، لأن القسيمة موجودة في الموقع P_2 . ومن المخطّط له إرسالها إلى P_1 في الوقت 30 دقيقة، وذلك بقدح الانتقال المتقطع P_1 ، ثم يبدأ العمل الزراعي. وفي الوقت 120 دقيقة، تنتقل المنظومة إلى حالة التوقّف،

وذلك بقدح الانتقال T_2 ، لأن للانتقال المتقطع أفضلية على الانتقال المتواصل. وإذا عرّفنا لائحة مدة التوقّف لـ T_1 و T_1 سلفاً، أمكن وصف جميع التوقّفات ونمذجتها.

3.4 استعراض

نستعرض في هذه الفقرة انسياب العمل في المزرعة عبر شبكة بتري هجينة ونُجري محاكاة لجدول العمل بوجود متغيرات معينة.



الشكل 4.4: نمذجة توقّفات العمل.

1.3.4 متغيّرات الدخل

يُري الجدول 1.4 متغيّرات دخل لغرض الاستعراض. تشير T_2 إلى المزرعة، حيث i هو رقمها. وتشير W_{i1} إلى عمل الحراثة، و W_{i2} إلى عمل الزرع في المزرعة F_i . يمكن للعمل W_{i2} أن يبدأ فقط بعد اكتمال العمل W_{i1} . وتُوضع مدة انتظار الأرض F_i مساوية للصفر، أي إن العمل W_{i2} يمكن أن يبدأ فور اكتمال العمل W_{i1} .

تُستعمل ثلاث آلات M_{11}, M_{12}, M_{13} لتنفيذ العمل W_{i1} ، وآلتان M_{21}, M_{22} لتنفيذ العمل W_{i2} . أما سرعة العمل الوسطية v_{ij} فقد صُمّمت وفقاً لافتراض أنها تعتمد على استطاعة الآلة، لا على حالة المزرعة. وتُقدّر v_{ij} بأخذ مدة التوقّف المعتادة ووقت الغداء وأوقات التنقل في الحسبان. وتساوي سرعة العمل الوسطية للآلة M_{11} في الحراثة 3 m^2/min .

الجدول 1.4: بيانات الدخل.

F_5	F_4	F_3	F_2	F_1	أرض المزرعة
2920	2100	1300	980	3880	المساحة (m^2)
W_{51}	W_{41}	W_{31}	W_{21}	W_{11}	عمل الحراثة
M_{11}, M_{12}, M_{13}					آلات الحراثة
$[v_{11} = 3, v_{12} = 3.5, v_{13} = 4]$					[سرعة العمل (m^2/min)]
W_{52}	W_{42}	W_{32}	W_{22}	W_{12}	عمل الزرع
M_{21}, M_{22}					آلات الزرع
$[v_{21} = 3.5, v_{22} = 4]$					[سرعة العمل (m^2/min)]

ويحتوي الجدول 2.4 على لائحة تخصيص الموارد لأعمال المزرعة. وفي ما يخصّ عمل الحراثة في المزرعة F_1 ، تُخصّص الآلات M_{11}, M_{12}, M_{13} لتنفيذ عمل متعدد الآلات. إن العمل المتعدد الآلات يتطلب استمرار العمل دون توقّف حتى اكتماله. وتساوي السرعة الوسطية للعمل المتعدد الآلات السرعة الوسطية لهذه الموارد الثلاثة، وتُقدّر المدة اللازمة لاكتمال حراثة F_1 بـ 6.16 ساعة. أما في عمل الحراثة في المزارع الأخرى، فتعمل الموارد منفردة. ويشابه تخصيص الموارد لعمل الزرع تخصيصها للحراثة.

الجدول 2.4: تخصيص الموارد.

F_5	F_4	F_3	F_2	F_1	أرض المزرعة
M_{13}	M_{12}	M_{11}	M_{11}	M_{11}, M_{12}, M_{13}	موارد الحراثة
12.17	10.00	7.22	5.44	6.16	مدة العمل (ساعة)
M_{22}	M_{21}	M_{21}	M_{22}	M_{21}, M_{22}	موارد الزرع
13.90	11.67	7.22	4.67	9.95	مدة العمل (ساعة)

وتؤلّد لائحة عمل الموارد المبينة في الشكل 3.4 بناء على الجدول 2.4. ووفقاً

للائحة العمل، يُحطَّط للموارد M_{ij} أن تنفَّذ الأعمال المدرجة في العمود الأيسر من الجدول تسلسلياً.

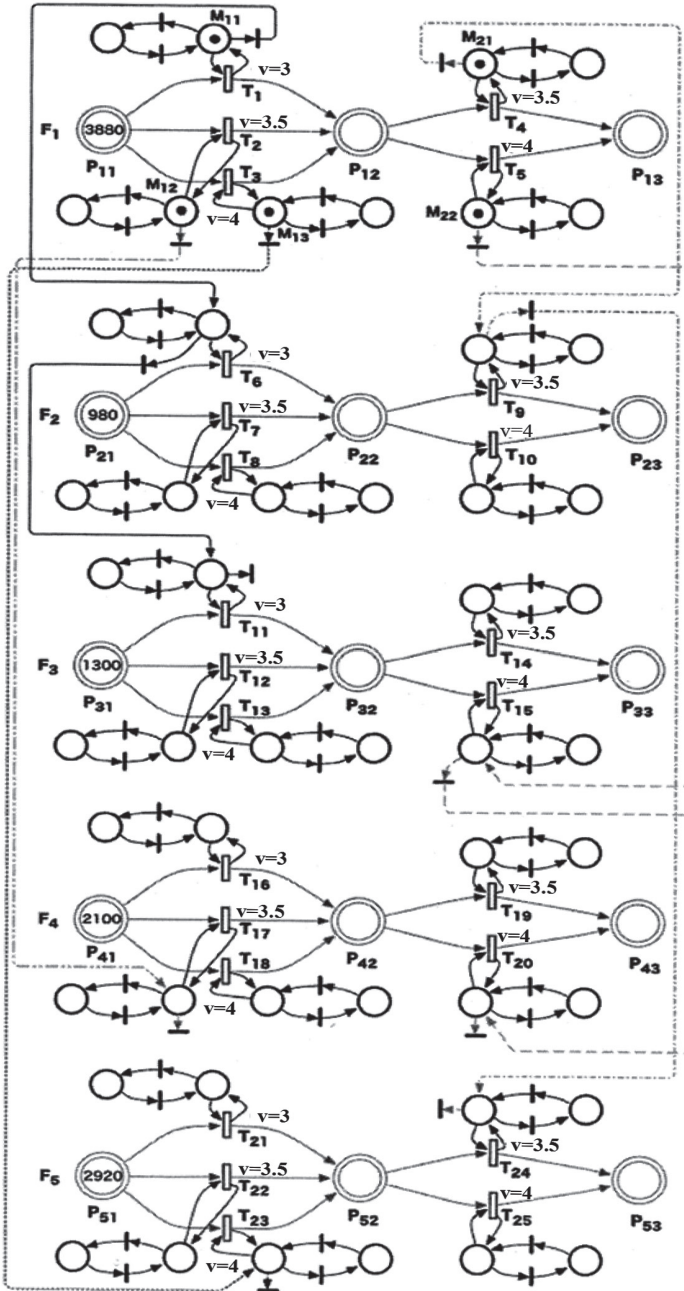
الجدول 3.4: لائحة عمل الموارد.

لائحة العمل	المورد
W_{11}, W_{21}, W_{31}	M_{11}
W_{11}, W_{41}	M_{12}
W_{11}, W_{51}	M_{13}
W_{12}, W_{22}, W_{52}	M_{21}
W_{12}, W_{32}, W_{42}	M_{22}

2.3.4 نمذجة الجدول ومراقبة حالة المنظومة

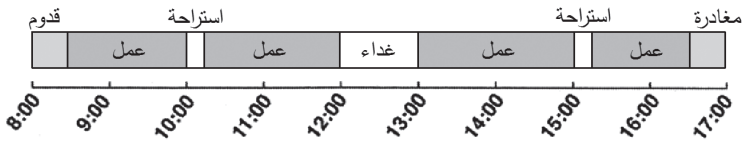
من البيانات المذكورة آنفاً، نستعرض منظومة شبكة بتري الهجينة للجدولة الميَّنة في الشكل 5.4. ومن أجل عرض النموذج برمته على نحو واضح، نهمل تسمية المواقع والانتقالات المتقطعة. وتوضع أسماء الانتقالات المتواصلة بالشكل $T_n (n = 1, 2, \dots, 25)$. على سبيل المثال، T_1, T_2, T_3 تمثِّل تنفيذ العمل W_{11} بالموارد المخصَّصة M_{11}, M_{12}, M_{13} . وعلى نحو مشابه، T_4, T_5 يمثِّلان تنفيذ العمل W_{12} بالموارد المخصَّصين M_{21}, M_{22} .

ومن أجل كل أرض مزرعة F_i ، ثمة ثلاثة مواقع P_{i1}, P_{i2}, P_{i3} تمثِّل ثلاث حالات للمزرعة. ويشير P_{i1} إلى أن المزرعة F_i جاهزة لعمل الحراثة W_{i1} . وعندما تصل القيمة في الموقع P_{i2} إلى القيمة الأولية في P_{i1} ، يكون عمل الحراثة W_{i1} قد اكتمل، وتصبح المزرعة جاهزة لعمل الزرع التالي W_{i2} . لقد أهملنا هنا مدد الانتظار لكل المواقع P_{ij} .



الشكل 5.4: نموذج للجدول بشبكة بترى هجينة.

ويتصل كل انتقال T_n بأقواس بين مواقع الدخل والخرج المتقطعة. ويُهَّل الانتقال T_n ($n < 6$) فيقدح في الوقت $t = 0$. وهذا يشير إلى أن العمل ذا الصلة هو قيد التنفيذ. ويمكن إيقاف عملية القدح ثم استئنافها حين الوصول إلى وقت معين. ويؤدي القدح المكتمل لـ T_n إلى حالة جديدة حيث تصبح القيمة في الموقع المستمر السابق صفراً وتزداد تلك التي في الموقع اللاحق. وتُنقل القسيمة الموجودة في الموقع المتقطع في نفس الوقت إلى الموقع التالي من أجل العمل التالي في لائحة العمل. على سبيل المثال، بعد اكتمال العمل W_{11} ، تُنقل القسائم المتقطعة الموجودة في المواقع المتصلة بـ T_1 و T_2 و T_3 إلى موقع متقطع متصل بـ T_6 و T_{17} و T_{23} . وبلي ذلك بدء عمل الحراثة في المزارع F_2 و F_4 و F_5 . وعلى نحو مشابه، يُحسب جدول العمل باستعمال السلسلة الموجودة في لائحة العمل بيانياً في منظومة شبكة بتري الهجينة.

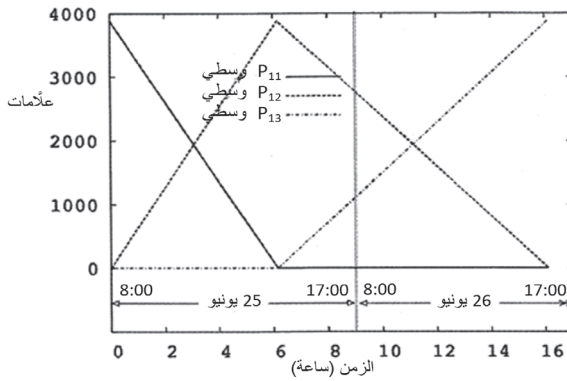


الشكل 6.4: أوقات الاستراحة أثناء يوم العمل.

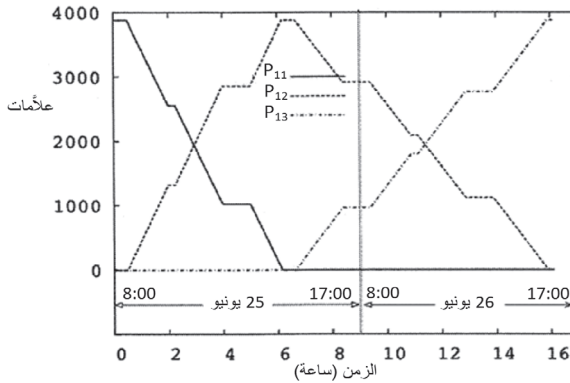
وفي يوم العمل الذي تمتد فيه ساعات العمل من الساعة 8:00 حتى 12:00، ومن 13:00 حتى 17:00، تُخصَّص أوقات للاستراحة عادة وفق المبيّن في الشكل 6.4 تقريباً. يصف الشكل الأنشطة في المزرعة في العمليات الزراعية الشائعة التي تتطلب وقتاً للقدوم إلى العمل، واستراحة أثناء العمل، ووقتاً للغداء، ووقتاً للتنظيف. لذا فإن مدة العمل الفعلية في يوم العمل تساوي 7 ساعات تقريباً (16:30-15:15، 15:00-13:00، 12:00-10:15، 10:00-8:30).

ويُري الشكل 7.4 تعقُّب العلامات عند سرعة عمل وسطية مع توقُّفات للعمل في المزرعة F_1 أو من دونها. يعبّر المحور العمودي عن مقادير القسائم في المواقع التي تُري المساحات المتاحة لتنفيذ العمل التالي. أما وحدات المحور العمودي فهي أمتار مربعة (m^2). ويصف الشكل 7.4-ا نقل القسائم في المواقع P_{11}, P_{12}, P_{13} التي تساوي فيها السرعة الوسطية سرعة العمل الوسطية المقررة للموارد. ويشير نقل القسائم إلى التغيّرات في المساحة المكتملة من الأرض. ويمثّل المحور الأفقي

الزمن التراكمي، مقدراً بالساعات، من الوقت $t = 0$. ووفقاً للجدول 2.4، تُخصَّص الموارد M_{11} و M_{12} و M_{13} لعمل الحراثة في المزرعة F_1 . ويُري الجدول أن T_1, T_2, T_3 تُؤهل لعملية القدح، وتبدأ كل الأعمال في الوقت $t = 0$. وأثناء الحراثة، تتناقص القسائم في الموقع P_{11} وتزداد تلك التي في P_{12} بسرعة العمل الوسطية للموارد الثلاثة. وعند $t = 6.16$ ، تصبح القسيمان في P_{11} و P_{12} صفراً و3880، ويكون عمل الحراثة في المزرعة قد انتهى. ويمكن حينئذٍ للعمل التالي، أي الزرع، أن يبدأ لأنه يُفترض أن مدة الانتظار للأرض F_1 تساوي الصفر، وأن الموارد لهذا العمل متوافرة.



(a): العلامات عند سرعات العمل الوسطية من دون توقُّفات.



(b): العلامات عند سرعات العمل الوسطية مع توقُّفات.

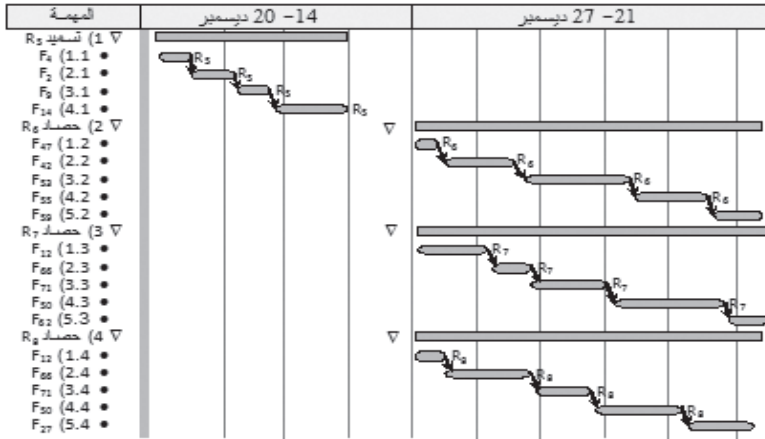
(علام: مساحة المزرعة التي سيجري فيها العمل)

الشكل 7.4: تعقُّب العلامات من أجل سرعات العمل الوسطية والتوقُّفات.

في الشكل 7.4-**a**، نجزئ الزمن إلى جزأين في يومي العمل 25 و26 حزيران/يونيو، ونحوّل الزمن التراكمي إلى أيام عمل. إلا أنه لا يمكن تمثيل التغيرات التفصيلية في العلامات أثناء العمل على نحو مميّز. لذا نُري تعقّباً آخر للعلامات في الشكل 7.4-**b** من أجل ملاحظة وقت التوقّف. وتبقى منحنيات العلامات الخاصة بـ P_{11} و P_{12} و P_{13} أفقية أثناء وقت التوقّف. ويساوي مجموع العلامات في المواقع الثلاثة ثابتاً، أي مساحة المزرعة F_1 .

ونظراً إلى أن خضوع العلامات في شبكات بتري الهجينة إلى المعادلة (2.2)، فإن مراقبة علامات المنظومة يعني أننا نراقب تقدّم العمل وحالة المزرعة والموارد.

ومن أجل مزيد من الاستعراض الشامل للجدول المولّد، نُري الجدول المشتق من سرعة العمل الوسطية بواسطة مخطط غانت (الشكل 8.4). تمثّل القضبان الأفقية وأطوالها مدد العمل بواسطة الموارد المخصّصة المبيّنة على الجوانب اليمنى من القضبان. ويظهر وقت السكون بين العمل W_{12} المنفّذ على الآلة M_{21} ، والعمل W_{22} المنفّذ على الآلة M_{21} في المخطط بسبب وقت الانتظار لإكمال العمل W_{31} على M_{11} . وبرغم أن مخطّط غانت يوفّر تمثيلاً مرئياً لتقدّم العمل من أجل إظهار النسبة المئوية التراكمية لاستكمال المهمة، فإن خطوط التقدّم ليست مبيّنة في هذا المخطّط عند بداية الجدول.



الشكل 8.4: جدول مولّد جرى إظهاره على شكل مخطّط غانت.

4.4 مناقشة

قدمنا في هذا الفصل نموذج شبكة بتري هجينة لنمذجة انسياب العمل في مزرعة لدى الشركات الزراعية الكبرى. وأُخذت في هذا النموذج في الحسبان أنشطة شائعة، مثل العمل المتعدّد الآلات والتوقّفات الناجمة عن الحالات غير الأكيدة أثناء العملية الزراعية. وصيغت مسألة جدولة العمل المتعدد الآلات، واستعرض تمثيل مرئي للجدول المولّد على شبكات بتري ومخطط غانت. وافترضنا أنه ليس ثمة قيود إضافية على تخصيص الموارد للعمل، وأهمّلنا مدد تنقّل الآلات بين المزارع. وتمّ الحصول على الجدول المحاكى اعتماداً على لائحة العمل، وأُخذت بيانات المحاكاة من شركات زراعية تُنتج قصب السكر.

لقد نمذجنا انسياب العمل الزراعي، وأجرينا محاكاة للكيفية التي وُلد بها جدول العمل الزراعي على نموذج شبكة بتري هجينة. وفي هذا البحث، تفوّقت شبكة بتري الهجينة في نمذجة انسياب العمل في المزرعة حين الأخذ في الحسبان للحالات غير الأكيدة والعمل المتعدّد الآلات. ونُمدّجت قيود الموارد والظروف بيانياً على نحو جيد بواسطة نموذج شبكات بتري. ومن علامّات منظومة شبكة بتري الهجينة، جرى استعراض حالة البداية للعمل إضافة إلى حالة تطوّر المزرعة والموارد في نموذج شبكة بتري الهجينة. وحقّقنا تخصيص الموارد فقط من خلال إدارة العلامّات في مواقع نموذج الشبكة.

ونمذجنا تسلسل العمل في إنتاج قصب السكر، ومن ضمنه التوقّفات والعمل المتعدّد الآلات، على نحو جيد باستعمال شبكات بتري الهجينة. وتضمّنت الحالات غير الأكيدة التي نُظر فيها إلغاء العمل وتغيّر الموارد، مثل اليد العاملة والآلات، وحالة أرض المزرعة والطقس. يمكن لإلغاء العمل أن يحصل بسبب مشكلات من مثل تعطلّ الآلات أو الطقس السيّئ. ولم تُقرن المواقع المستمرة التي تشير إلى حالة المزرعة بمدد انتظار، وتألفت الموارد التي عُرّفت في هذا العرض مجموعة صغيرة من اليد العاملة والآلات اللازمة للعمل. إلا أن عدد الأعمال الزراعية في المزرعة ليس ثابتاً، وتتصف مدة الدخول في العمل المتعدد الآلات بالعشوائية في العمل الزراعي الفعلي. أما مدة الانتظار التي تصبح بعدها المزرعة متاحة للعمل الآخر، بعد إكمال العمل الجاري، فيجب أن تُحدّد سلفاً. يُضاف إلى ذلك أن تخصيص موارد فردية لعمل ما بدلاً من مجموعة موارد يودّي إلى التخطيط المرن للعمل في المزرعة. وفي حالة الموارد الفردية،

يجب تقسيم كل موقع متقطع متصل بانتقال متواصل في نموذج الشكل 5.4 إلى عدة أقسام جزئية أخرى توافق عدد الموارد. لذا فإن شبكات بترى الهجينة البدائية ليست كافية لنمذجة كل سلوك العمل الزراعي، وعلينا النظر في نموذج أكثر تفصيلاً لوصف الأحداث المتزامنة والعشوائية.

وعلى وجه العموم، تُعتبر مسألة تخطيط العمل في المزرعة صعبة الصياغة بالطرائق العادية إذا أخذنا في الحسبان قيود الموارد والظروف. أما نموذج شبكة بترى الهجينة فيقلص كثيراً تعقيد صياغة المسألة (Sadrieh et al., 2007)، إلا أنه لا يمكن توليد مخطط العمل في المزرعة من نموذج شبكة بترى. بل تُستعمل استراتيجيات تخصيص الموارد والجدولة القائمة على لائحة أسبقيات المهام لاستمثال تخطيط العمل الزراعي عموماً، وتُستعمل شبكات بترى لنمذجة حالة تقدّم المنظومة برمتها، ومنها الموارد والظروف والأعمال. لكن هذا المقطع لم يتطرق إلى استراتيجيات تخصيص الموارد وإنشاء لائحة أسبقيات تُرتّب الأعمال فيها تبعاً لأفضليات معينة. بل عُرِّف في هذا البحث البيانات المحسوبة لتخصيص الموارد (الجدول 3.4) ولائحة المهام (الجدول 2.4) ببساطة سلفاً. وتقابل الموارد المخصّصة والمهام في لائحة العمل القوائم المتقطعة والانتقالات المتواصلة في شبكة بترى الهجينة. أكثر من ذلك، إن طول الجدول، الذي يمثل المدة الزمنية بين بدء أول مهمة ونهاية آخر مهمة، حُسب وفقاً لقاعدة القدرح في شبكة بترى. والغرض من نمذجة انسياب العمل في المزرعة، وحل قيود الموارد، وحساب طول الجدول، ومراقبة المنظومة تحقّق باستعمال نموذج شبكة بترى.

إن استراتيجية تخصيص الموارد مهمة جداً أيضاً لتخطيط العمل في مزرعة حين تحديث الموارد. وتتضمن تغييرات الموارد شراء آلات جديدة، واستئجار يد عاملة، وتحديث فاعلية الموارد، وتقليص أعداد الموارد المتوافرة. ويجب الاهتمام أيضاً بإعادة تخصيص الآلات والموارد المهملة نتيجة لبعض الحالات غير الأكيدة. وفي حالة الآلات المهملة، تتلاشى القسيمة في نموذج شبكة الشكل 5.4، ويمكن لبعض الانتقالات (الأعمال الزراعية) ألاّ تقدح. لذا يجب تحديث الجدول. وهذه حالات يجب أن تُأخذ في الحسبان حين إعادة تخصيص الموارد.

لم تؤدّ بيانات المحاكاة المستعملة في هذا البحث إلى انسدادات في المنظومة، وهي الحالات التي ينتظر فيه عمالان أو أكثر تحرير موارد ولا يحصل أيٌّ منها عليها. في التخطيط الفعلي للعمل في مزرعة، يمكن لتخصيص الأعمال اعتماداً على لائحة الأسبقيات أن يؤدّي إلى انسدادات. ولذا نقترح النهج التالي لتجنب الانسدادات: (1)

حدّد مرتبة العمل في المزرعة من خلال معرفة حالة المزرعة، (2) عرّف مراتب الموارد تبعاً لكفاءتها، (3) فضّل التقلّات ذات المسافات القصيرة للموارد بين المزارع.

5.4 خلاصة

يتطلّب تخطيط العمل اليومي في مزرعة نموذجاً منطقياً. ومن أجل تحقيق هذا المتطلب، قدّمنا نموذج شبكة بتري هجينة لنمذجة انسياب العمل في مزرعة في شركة زراعية. وبيّنت المحاكاة أن شبكات بتري الهجينة قابلة للاستعمال في نمذجة العمل في مزرعة حين أخذ أنشطة مثل العمل المتعدد الآلات والتوقّفات الناجمة عن الحالات غير الأكيدة في العملية الزراعية في الحسبان. ويمكن استعمال هذا النموذج لوضع خطة عمل واقعية في مزرعة لدى بعض الشركات الزراعية.

5- إجراءات تقريبية عامة ثنائية الأطوار للجدولة

1.5 تقديم

تتصف مسائل جدولة كثيرة بأنها مسائل صعبة الحل لأنها ذات زمن حلّ تخميني (NP Complete)، بمعنى أنه ليس ثمة خوارزمية فعالة (خوارزمية ذات زمن حدودي (Polynomial Time)) معروفة لحل مسائل من هذا النوع (Garey & Johnson, 1979). ومن المعروف أن مسائل الجدولة صعبة الاستمثال بوجود القيود. لكن الجدول الذي تُؤخذ فيه التغيّرات غير الأكيدة والبيئية في الحسبان ينطوي على مقدرة على الخدمة والوثوقية أكبر من تلك التي يوفرها الجدول القائم على البيانات المحدّدة. وقد أُجري كثير من البحث في مسائل الجدولة بوجود عدم التيقن (Bassett et al., 1997; Janak & Floudas, 2006; Lin et al., 2004; Till et al., 2007; Wang, 2004)، وقُدّم مسح غني بالمعلومات عن الاستمثال التطوّري في البيئات غير الأكيدة في (Jin & Branke, 2005). وفي مجال الزراعة، طوّر مركز البحوث الزراعية القومي في اليابان منظومة تخطيط وتحليل للمنظومات الزراعية لإنتاج الرز تقوم على نموذج للبرمجة العشوائية (Nansek, 1998). وطوّر (Daikoku, 2005) أيضاً منظومة لتخطيط جدول عمل إنتاج الرز ونقل زراعته إلى حقول متفرّقة، وأعلن (Nansek et al., 2003) قاعدة بيانات زراعية لتخطيط العمل. يُضاف إلى ذلك أنه جرى تطوير عدة نماذج تحاكي عملية واحدة (Arjona et al., 2001; Higgins & Davies, 2005) وتعمل مع محصول واحد أو أكثر (Chen & McClendon, 1985; Haffar & Khoury, 1992; Lal et al., 1987; Tsai et al., 1991; al., 1991) واقترح (Astika et al., 1999) خوارزمية عشوائية

لجدولة العمل في المزرعة تقوم على تعيُّرات الطقس القصيرة الأجل. إن هذه البحوث تتوجَّه عادة إلى مسألة عمل في مزرعة معيَّنة، وهي غير ملائمة عادة لتوليد الجدول اليومي لدورة نمو كاملة ولتخصيص الموارد اللازمة للأعمال الحقلية في المزارع المتفرقة جغرافياً.

سوف نهتم في هذا المقطع بإجراءات تقريبية عامة ثنائية الأطوار (Two-Phase Metaheuristic) للجدولة التفاعلية والطويلة الأجل بوجود قيود. في الطور الأول، منها، يُستعمل تخصيص الموارد باستعمال خوارزمية محاكاة التقسية SA، وفي الطور الثاني، يستند الاستمثال إلى خوارزمية جينية GA تبحث عن جدول أمثلي وفقاً لقواعد القدح في شبكة بتري هجينة. وقد جرى في التجربة توضيح طريقة لتحسين سرعة تطوُّر الحل وجودته.

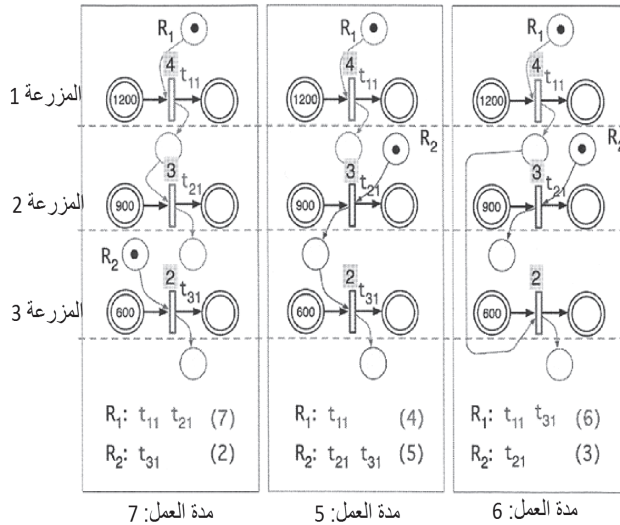
2.5 مسألة الجدولة

ثمة كثير من المسائل التي تتميز بأنها مسائل صعبة الحل NP (ذات زمن تخميني)، أي إنه ليست ثمة خوارزميات (ذات زمن حدودي) مطوَّرة لحل مسائل من هذا النوع. ومع زيادة عدد المهام أو المعالجات أو الآلات في الشركة، تصبح مسألة الجدولة أشد صعوبة. وإحدى المسائل الممثَّلة للجدولة هي مسألة جدولة أعمال الورشة (Job-Shop Scheduling Problem) الشهيرة ذات الـ $n \times m$ متغيِّراً وتوجد فيها مجموعة من الأعمال $J = J_1, J_2, \dots, J_n$ ومجموعة آلات $J = J_1, J_2, \dots, J_n$. وكل عمل J_i ، $1 \leq i \leq n$ ، يجب أن يُعالج بكل آلة M_j ، $1 \leq j \leq m$ ، مرة واحدة تماماً. ويُرمز لمعالجة العمل J_i بالآلة M_j بـ O_{ij} ، وتسمَّى تلك المعالجة بالعملية. وتُعالج العملية على الآلة مدَّة تُقدَّر بعدد صحيح من الوحدات الزمنية. ولكل آلة M_j ، يساوي عدد تراتيب المعالجة الممكنة $n!$. لذا يوجد في مسألة جدولة أعمال الورشة $(n!)^m$ حلٍّ ممكنٍ للجدول، أي $(n!)^m$ طريقة مختلفة لتخصيص الآلات للأعمال. وفي هذه المسألة، إذا كان $m = 1$ ، كان تعقيد المسألة JSSP مساوياً لتعقيد مسألة البائع الجوال (Traveling Salesman Problem) (TSP).

مقارنة بمسألة جدولة أعمال الورشة JSSP، لا يوجد في مسألة تخطيط العمل في المزرعة قيد يقتضي تنفيذ كل عمل باستعمال كل آلة. وفي معظم الحالات، يكون عدد الحلول الممكنة لتخطيط العمل في المزرعة أقل من عدد حلول مسألة جدولة أعمال الورشة، ومع ذلك تتطلَّب مدة أسَّية كتلك التي في مسألة البائع الجوال إذا كان حجم المسألتين متساويين.

وفي تخطيط العمل في المزرعة، ثمة $n!$ حلٌّ ممكنٌ لكل ترتيب للآلات. وإذا نُقِّد كل عمل بواسطة آلة واحدة، مع افتراض أن الآلة لا تترك العمل قبل إنهائه، كان عدد الحلول الممكنة لكل جدول $n! \times m^n$. وفيما يخصّ العمل J_i على الآلة M_j ، من الممكن للآلات الأخرى أن تنضم إلى هذا العمل إذا كانت الآلة M_k ، ($1 \leq k \leq m, k \neq j$)، متاحة للعمل. وبافتراض عدم خروج أي آلة من أي عمل قبل اكتماله، تعطي مسألة تخطيط العمل في المزرعة $n! \times (2^m - 1)^n$ جدولاً ممكناً. لكن في العمل الفعلي في المزرعة، يكون دخول الآلات إلى العمل وخروجها منه اعتبارياً، وتُخصّص لكل أرض مزرعة عدة أعمال في دورة الزراعة السنوية للمحصول موضوع الاهتمام. لذا يصبح تعقيد تخطيط العمل في المزرعة شديد الصعوبة.

سوف ننظر في مثال لأبسط الحالات التي يكون فيها عدد الحلول الممكنة $n! \times m^n$. فإذا كان عدد المزارع 80، وكان عدد الآلات 2، وكان ثمة 6 أعمال في كل مزرعة في دورة الزراعة السنوية للمحصول، وصل العدد الممكن للحلول إلى $5.19 \times 10^{143} = 2^{80} \times 80! \times 6$. فإذا استعمل حاسوب يستطيع القيام بمليون حل في الثانية (أي بحسب 3.15×10^{13} حلاً في السنة)، استغرق أكثر من 10^{130} سنة في حل مسألة الجدولة. لذا، ونظراً إلى أن من المستحيل حساب جميع الحلول الممكنة من أجل الحصول على الجدول الأمثل، نتبع عادة نهجاً تقريبياً لحساب حل مقبول للجدول في مدة معقولة.



الشكل 1.5: نتيجة جدولة ممكنة.

يُري الشكل 1.5 ثلاث نتائج جدولة باستعمال نموذج شبكة بترى هجينة. والوظيفة المطلوبة من الجدول هي جعل مدد إنهاء الأعمال أصغرية. في هذا الشكل، أهملت مدد انتقال الآلات بين المزارع، وافترض أن سرعتي عمل الموردين R_1 و R_2 متساويتان. ووضعت مدة كل من العاملين في أعلى المستويات المثلة للانتقالات المستمرة. في الجدول الأول، يُنفذ R_1 العملين t_{11} و t_{21} ، ويُنفذ R_2 العمل t_{31} . وعندما تكتمل جميع الأعمال t_{11} حتى t_{11} ، تساوي مدة العمل في هذا الجدول 7. وينتج الجدولان الثاني والثالث من تخصيصات مختلفة للموارد والأعمال. وفي المحصلة، يكون الجدول 2 (مدة التنفيذ: 5) هو الأفضل بين الجداول الثلاثة المبيّنة. ومن الشكل يتضح أن إنشاء الجدول يتطلب أمرين أساسيين هما (1) تخصيص الموارد للعمل، (2) وترتيب تسلسل الأعمال. وعندما يتحدد هذان الشيطان، يمكن حساب الجدول تبعاً للمعيار المحدد.

3.5 تعريف المسألة

1.3.5 الجدولة التفاعلية والطويلة الأجل

في الإدارة المتكاملة، تتألف منظومة الجدولة من جزأين: جدولة تفاعلية طويلة الأجل، وجدولة آنية [فورية]. في الجدولة التفاعلية الطويلة الأجل، يُحسب جدول طويل الأجل، ويُحدّث طوال الدورة الزراعية كل يوم بعد إنهاء العمل في المزرعة. وهذه الجدولة ذات قيمة كبيرة لوضع خطة تمهيدية شاملة لكل دورة زراعية. ويستغرق حساب الجدول التفاعلي الطويل الأجل أكثر من عشر ساعات، وهو يتصف بإمكان التحديث الذاتي ووراثة أفضل جدول ممكن راهن. وتقرب النتيجة المحسوبة للجدول من الخطة الواقعية تدريجياً بدقة متزايدة. لكن في هذا النوع من الجدولة، لا يتطلب وضع الخطة السنوية دقة زائدة. يُضاف إلى ذلك أنه من أجل حالة الجدولة الطويلة الأجل، وبيانات التخمين الخشنة لمخاطر التشغيل، يمكننا الحصول على حل تمهيدي للأغراض المختلفة بتغيير مستويات الخوارزمية. وتتضمن الحلول التي من هذا النوع من (1) عدد المزارع التي يمكن استئجارها، (2) والموقع الجغرافي للمزرعة الموسمي استئجارها وحالتها، (3) ومقدار العمل الإضافي الذي يجب القيام به، (4) والاهتمامات الإضافية إذا كان ثمة فائض من الآلات واليد العاملة.

وخلالاً للجدولة التفاعلية الطويلة الأجل، توافر الجدولة الآنية أحدث جدول للعمل خلال مدة قصيرة حين تغرّ حالة الموارد أو البيئة، وهي ذات قيمة كبيرة لوضع

جدول في الزمن الحقيقي يأخذ في الحسبان التوقُّفات والحالات غير الأكيدة. وتتصف نتيجة الجدولة الآنية بأنها أكثر تفصيلاً وقابلية للتطبيق من الجدولة التفاعلية الطويلة الأجل، وفيها تُسجَّل التغيُّرات بواسطة جهاز نَقَّال متصل بالإنترنت، وتُنقل نتيجة الحساب إلى المشغِّلين في غضون ثوانٍ. ونظراً إلى أن المتاح للجدولة الآنية هو بضع ثوانٍ من الحساب فقط، فإنها تقتصر على الآجال القصيرة وتستعمل موارد محدودة من مثل المزارع غير المكتملة الأعمال، والموارد المتاحة لعمل معيّن، والعمل خلال أسبوع... إلخ. يُضاف إلى ذلك أن الخوارزمية المستعملة في حساب الجدولة الآنية تَرث أفضل جدول راهن من نتيجة الجدولة الطويلة الأجل، وذلك بغية تحسين فعالية الحساب.

إن تعريف وصياغة المسألة في هذا المقطع موجَّهة إلى الجدولة التفاعلية الطويلة الأجل.

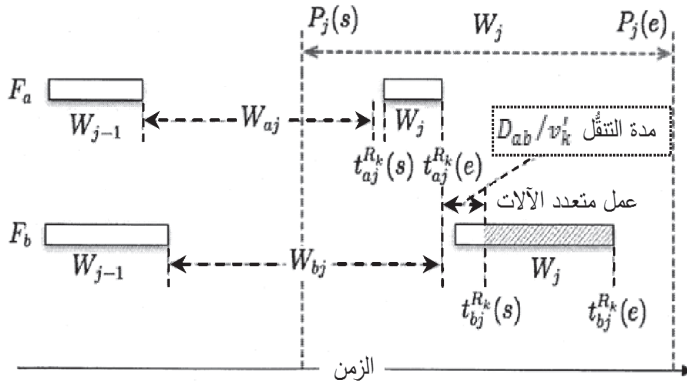
2.3.5 تعريف جدولة العمل في المزرعة بطريقة رياضية

ثمة لكل مزرعة لدى الشركات الزراعية الكبرى سلسلة من الأعمال التي تمتدّ من الزرع حتى الحصاد ضمن دورة المحصول الزراعية. وثمة الكثير من الآلات واليد العاملة المتاحة لأي عمل، ويحتاج كل عمل إلى تخصيصه بتلك الموارد.

الجدول 1.5: تعريف المتغيّرات

الرمز	التعريف
F_i	المزرعة i ، $i \in \{1, \dots, N_F\}$
W_j	العمل j ، $j \in \{1, \dots, N_W\}$
R_k	المورد k ، $k \in \{1, \dots, N_R\}$
A_i	مساحة F_i
I_{ij}	$I_{ij} \in \{0,1\}$ ، 1: يجب تنفيذ W_j في المزرعة F_i ، 0: عدا ذلك
m_{ij}	مقدار العمل المجدول W_j في المزرعة F_i ، $m_{ij} \in [0, A_i]$
S_{jk}	$S_{jk} \in \{0,1\}$ ، 1: R_k متاح لتنفيذ R_k ، 0: عدا ذلك

$S'_{i,k} \in \{0,1\}$, R_k : جدول لتنفيذ W_j , 0: فيما عدا ذلك	$S'_{i,k}$
سرعة عمل R_k	v_k
مدة الانتظار بين نهاية W_{j-1} وبداية W_j في F_i	W_{ij}
وقت العمل المسبق التحديد لـ W_j : $P_j(s)$: وقت البداية، $P_j(e)$: وقت النهاية	$P_j(s), P_j(e)$
المهمة المنفذة لـ W_j في F_i بواسطة R_k	T_{ijk}
وقت بداية W_j في F_i بواسطة R_k	$t_{ij}^{R_k}(s)$
وقت نهاية W_j في F_i بواسطة R_k	$t_{ij}^{R_k}(e)$
سرعة تنقل R_k	v_k'
المسافة بين F_a و F_b , $a, b \in \{1, \dots, N_F\}$	D_{ab}



الشكل 2.5: إظهار المتغيرات المعرفة على محور الزمن.

من أجل وصف الظروف في جدول دورة زراعية طويل الأجل نظرياً، نستعمل N_F للدلالة على عدد المزارع، و N_W للدلالة على عدد الأعمال، و N_R للدلالة على عدد الموارد في دورة المحصول الزراعية. أما الرموز الأخرى وأوصافها فهي مدرجة في الجدول 1.5. لاحظ أن I_{ij} يمثّل إن كان العمل W_j سوف يُنفَّذ أم لا، و m_{ij} تمثّل مقدار العمل المجدول W_j في F_i ($I_{ij} \neq 0$). وسوف يُجدول W_j إذا كان $m_{ij} \neq 0$ ، وإلا فإن هذا العمل لن يُنفَّذ في F_i . ويتحدّد تنفيذ العمل الإضافي ب I_{ij} و m_{ij} . وتُستعمل مدة الانتظار W_{ij} ، ووقتاً العمل $P_j(s), P_j(e)$ المحدّدين سلفاً، لتحديد وقت الزراعة الملائم. وعادة، يكون $P_j(s)$ أكبر من $P_{j-1}(e)$ ، ولذا يمكن تنفيذ العمليين W_{j-1} و W_j في نفس الوقت. على سبيل المثال، يمكن تنفيذ عمليّ الحراثة والحصاد في نفس يوم العمل بواسطة موارد مختلفة. إن العلاقات في ما بين هذه المتغيّرات مبيّنة في الشكل 2.5.

وأثناء تخصيص الموارد، يجب ضمان أن مورداً واحداً على الأقل قد خُصّص لتنفيذ W_j ، وأن العدد الكلي للموارد المخصّصة له أصغر من أو يساوي $\sum_k S_{jk}$ ، وهو عدد الموارد الكلي المتاح لتنفيذ W_k . لا يُعرّف المورد بصفته مورداً منفرداً، بل بوصفه مجموعة أصغرية من الآلات واليد العاملة اللازمة للعمل. وإذا خُصّص أكثر من مورد واحد لنفس العمل W_k ، ($\sum_k S'_{jk} > 1$)، كان العمل متعدد الآلات. يُعرّف العمل الزراعي المتعدد الآلات بأنه عملية تُنفَّذ فيها آلات عديدة نفس العمل، ويكون وقت دخول المورد في تنفيذ العمل الزراعي التعاوني اعتبارياً.

$$1 \leq \sum_k S'_{jk} \leq \sum_k S_{jk} \quad (1.5)$$

ويكتمل مقدار العمل المجدول، m_{ij} ، بواسطة موارد معينة R_k ، خلال المدّة من $t_{ij}^{R_k}(s)$ حتى $t_{ij}^{R_k}(e)$ بسرعة عمل v_k . والمعادلة الآتية صالحة لأي طريقة لتخصيص الموارد:

$$m_{1j} = [t_{1j}^{R_1}(e) - t_{1j}^{R_1}(s)] \cdot v_1 + [t_{1j}^{R_2}(e) - t_{1j}^{R_2}(s)] \cdot v_2 + \dots + [t_{1j}^{R_k}(e) - t_{1j}^{R_k}(s)] \cdot v_k$$

$$\vdots$$

$$m_{ij} = [t_{ij}^{R_1}(e) - t_{ij}^{R_1}(s)] \cdot v_1 + [t_{ij}^{R_2}(e) - t_{ij}^{R_2}(s)] \cdot v_2 + \dots + [t_{ij}^{R_k}(e) - t_{ij}^{R_k}(s)] \cdot v_k$$

ويمكن ترتيب هذه العلاقات على النحو الآتي:

(2.5)

$$\begin{bmatrix} t_{1j}^{R_1}(e) - t_{1j}^{R_1}(s) & t_{1j}^{R_2}(e) - t_{1j}^{R_2}(s) & \dots & t_{1j}^{R_k}(e) - t_{1j}^{R_k}(s) \\ t_{2j}^{R_1}(e) - t_{2j}^{R_1}(s) & t_{2j}^{R_2}(e) - t_{2j}^{R_2}(s) & \dots & t_{2j}^{R_k}(e) - t_{2j}^{R_k}(s) \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ t_{ij}^{R_1}(e) - t_{ij}^{R_1}(s) & t_{ij}^{R_2}(e) - t_{ij}^{R_2}(s) & \dots & t_{ij}^{R_k}(e) - t_{ij}^{R_k}(s) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} v_1 \\ v_2 \\ \vdots \\ v_k \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} m_{1j} \\ m_{2j} \\ \vdots \\ m_{ij} \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} t_{1j}^{R_1}(e) - t_{1j}^{R_1}(s) & t_{1j}^{R_2}(e) - t_{1j}^{R_2}(s) & \dots & t_{1j}^{R_k}(e) - t_{1j}^{R_k}(s) \\ t_{2j}^{R_1}(e) - t_{2j}^{R_1}(s) & t_{2j}^{R_2}(e) - t_{2j}^{R_2}(s) & \dots & t_{2j}^{R_k}(e) - t_{2j}^{R_k}(s) \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ t_{ij}^{R_1}(e) - t_{ij}^{R_1}(s) & t_{ij}^{R_2}(e) - t_{ij}^{R_2}(s) & \dots & t_{ij}^{R_k}(e) - t_{ij}^{R_k}(s) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} v_1 \\ v_2 \\ \vdots \\ v_k \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} m_{1j} \\ m_{2j} \\ \vdots \\ m_{ij} \end{bmatrix}$$

ومن أجل درء تراكم المديتين: $[t_{ij}^{R_k}(e) - t_{ij}^{R_k}(s)]$ و $[t_{pq}^{R_k}(e) - t_{pq}^{R_k}(s)]$ ، حيث $p \in \{1, \dots, N_F\}$ و $q \in \{1, \dots, N_W\}$ ، يجب تحقيق الشرطين الآتيين:

$$\begin{aligned} \forall i, j, p, q, \quad t_{ij}^{R_k}(s) &< t_{ij}^{R_k}(e) \\ t_{ij}^{R_k}(e) &< t_{pq}^{R_k}(s) \quad \text{if } t_{ij}^{R_k}(s) < t_{pq}^{R_k}(s) \end{aligned} \quad (3.5)$$

ومن أجل أن يكون العمل في موعده، يجب أن تُؤخذ في وقت بدء العمل $t_{ij}^{R_k}(s)$ وفي وقت انتهائه $t_{ij}^{R_k}(e)$ الشروط الإضافية الواردة في المعادلة 4.5، حيث $k' \in \{1, \dots, N_R\}$

$$\begin{aligned} \forall i, j, k, k', \quad t_{ij}^{R_k}(s) &\geq \max(P_j(s), t_{i(j-1)}^{R_{k'}}(e) + W_{ij}) \\ t_{ij}^{R_k}(e) &\leq \max(P_j(e), t_{i(j-1)}^{R_{k'}}(e) + W_{ij}) \end{aligned} \quad (4.5)$$

وتخضع أعمال المزرعة i إلى علاقة تقييد الأسبقية (Chekuri & Motwani, 1999). أي إن العمل اللاحق W_j لا يمكن أن يبدأ إلا بعد إنهاء العمل السابق W_{j-1} . وتُعبّر المعادلة 5.5 عن هذا الشرط:

$$\forall i, j, k, k', \quad t_{ij}^{R_k}(s) > t_{i(j-1)}^{R_{k'}}(e) \quad (5.5)$$

وبأخذ مدة التنقل بين المزارع في الحسبان، يجب أن يساوي وقت بدء العمل

التالي مجموع وقت نهاية العمل السابق ومدة التنقل، وفق الميّن في المعادلة 6.5:

$$\forall a, b, j, k, \quad t_{aj}^{Rk}(s) \geq t_{bj}^{Rk}(e) + D_{ab}/v'_k \quad (6.5)$$

وبناءً على الشروط السابقة، يكون هدف الجدولة تحقيق القيمة الدنيا الآتية:

$$\min \left(\sum_{a,b,j,k} [t_{bj}^{Rk}(s) - t_{aj}^{Rk}(e)] \right) \quad (7.5)$$

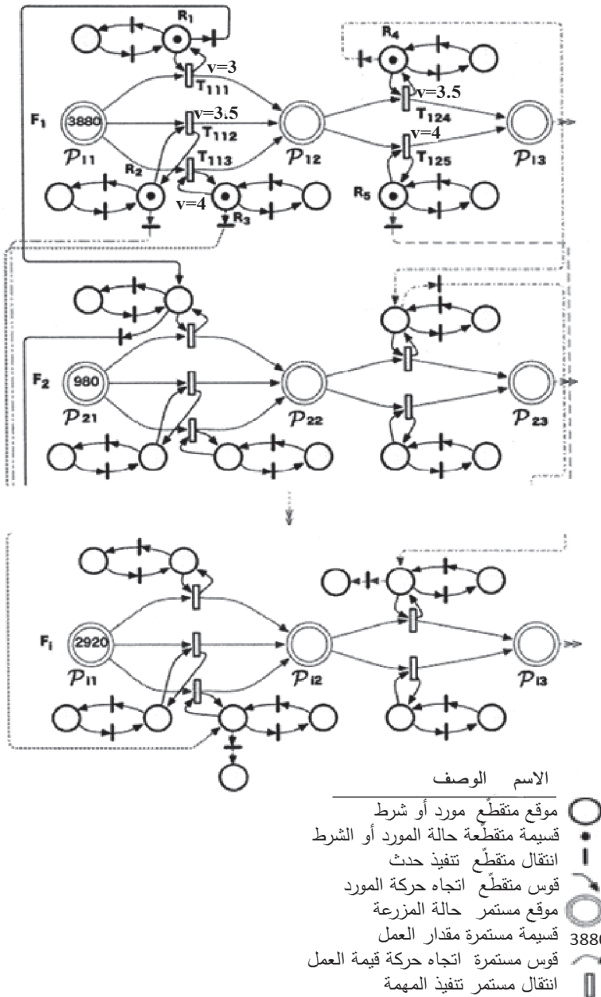
حيث المهمة t_{bj}^{Rk} هي مهمة لاحقة للمهمة t_{aj}^{Rk} ($t_{bj}^{Rk}(s) \geq t_{aj}^{Rk}(e)$). ويؤدّي جعل وقت السكون بين الأعمال أصغرياً إلى تعظيم نسبة استعمال الآلات، ويُعبّر عن الغرض من الجدول الشامل الطويل الأمد. وهذا الهدف هو نفسه هدف جعل مدة الإنجاز أصغرية في مسألة الجدولة العامة. وفي الواقع، يمكن لهدف الجدولة أن يتخذ كثيراً من الصيغ، منها تصغير مدة الإنجاز، وتعظيم خرج المنشأة، وتعظيم الربح أو تصغير تكاليف الإنتاج. ويمكن لهذه الأهداف، أو لبعضها، أن تُصاغ تبعاً للمسألة، إلى جانب تحديث القيود وتوابع الحساب ذات الصلة.

وتؤدّي الصياغة المقترحة آنفاً إلى مسألة البرمجة اللاخطية للمتغيّرات المتقطّعة والمستمرة المختلطة (Mixed Integer Nonlinear Programming) (MINLP) إذا كان عدد المتغيّرات والقيود كبيراً (Zhang & Sargent, 1996). لكن باستعمال شبكات بتري الهجينة، تُمكن صياغة القيود الرئيسية التي تنشأ في مسألة الجدولة بيانياً، وليس ثمة ضرورة لتعريف أي متغيّر أو قيد رياضياً. ونتيجة لذلك، يتحقّق تقليص هائل في تعقيد صيغة المسألة (Ghaeli et al., 2006; Sadrieh et al., 2007). ويمكن حل مسألة الاستمثال هذه بطرائق عدة منها الإجراءات التقريبية لنطاق المسألة (Problem Domain Heuristics)، وطريقة مونتّي كارلو (Monte Carlo)، وخوارزمية محاكاة التقسية، والخوارزمية الجينية، وبحث تابو (Pham & Karaboga, 1998).

3.3.5 صياغة جدولة عمل المزرعة بواسطة شبكة بتري الهجينة

يُري الشكل 3.5 نموذجاً لشبكة بتري هجينة لجدولة عمل المزرعة، مع أسماء وأوصاف عناصر النموذج البنوية. ويتألّف الجزء المتقطّع من شبكة بتري من مواقع متقطّعة مرسومة على شكل دوائر مفردة المحيط، وانتقالات متقطّعة مرسومة على شكل قضبان. ومثّلت حالة المورد R_k بتوزّع القسائم، حيث مثّلت القسيمة بنقطة سوداء ضمن الموقع. ويحتوي الجزء المستمرّ على المواقع P_{ij} التي رُسمت على شكل دوائر ثنائية المحيط، ورُسمت الانتقالات المستمرة على شكل مستطيلات. والعدد (القيمة الحقيقية) في W_j

يمثل كمية القسائم التي تُترجم مقداراً للعمل. وفي وقت بدء F_i في P_{ij} ، تعطى القيمة التي في P_{ij} القيمة m_{ij} ، في حين أن القيمة في المواقع الأخرى ذات الصلة بـ F_i تأخذ القيمة 0. على سبيل المثال، مقدار العمل (القسائم) في المواقع P_{11} و P_{12} ... حتى P_{1j} يساوي 3880، 0، ...، 0 في حالة البداية. ويشير الانتقال المستمر الذي تماثل تسميته تسمية المهمة T_{ijk} إلى تنفيذ مهمة في المزرعة F_i بواسطة R_k للعمل W_j . ويقترن كل انتقال مستمر بمدة عمل معرّفة سلفاً $[P_j(s), P_j(e)]$ ، ويقترن كل موقع مستمر بمدة انتظار W_{ij} .



الشكل 3.5: نموذج شبكات بترى هجينة لجدولة العمل في المزرعة.

والعمل المتعدد الآلات والتوقفات مُنمذجة في الشكل أيضاً. ففي حالة البداية مثلاً، يبدأ العمل W_1 في المزرعة F_1 باستعمال الموارد R_1 و R_2 و R_3 معاً. وتتضمن مدة التوقف الاستراحة والمدة التي يمكن أن تُستهلك بالتغيرات غير الأكيدة التي مثل تعطل الآلات والطقس السيئ... إلخ. ومن أجل كل مورد R_i ، نُمدج التوقف والاستئناف للمهمة T_{ijk} بجزء متقطع من شبكة بتري موصول مع انتقال مستمر T_{ijk} يتألف من انتقالين وموقعين متقطعين.

إضافة إلى أن نموذج شبكة بتري الهجينة هذا يقوم بنمذجة عمل المزرعة، فإنه يوفر محاكاة لذلك العمل أيضاً. وفي أثناء تنفيذ عمل المزرعة، تتغير القسائم في الموقع ذي الصلة مع مرور الزمن. لذا فإن مراقبة علامات شبكة بتري الهجينة، أي الشعاع الممثل لمقدار القسائم الحالي، يعني أننا نراقب تقدم العملية الزراعية وحالة المزرعة والموارد. وثمة وصف تفصيلي لنمذجة انسياب عمل المزرعة بواسطة شبكات بتري الهجينة في (Guan et al., 2008).

4.3.5 محاكاة القيود بواسطة شبكات بتري الهجينة

يمكن تمثيل جميع القيود المعرفّة بالمعادلتين 1.5 و 2.5 على شبكة بتري هجينة. وتُلخّص قواعد القدح في شبكات بتري الهجينة بالآتي:

1. اشتراك أكثر من آلة واحدة في عمل معين اعتبارياً ممكن إذا كان العمل W_j في المزرعة F_i غير مكتمل. تقابل هذه القاعدة المعادلة 1.5، فهي تُحدّد عدد الموارد المخصّصة بين واحد وعدد الموارد الكلي المتاح للعمل W_j في المزرعة F_i . ونظراً إلى أن شبكة بتري الهجينة تتكوّن على نحو متطور، فإن عدد المواقع المتقطعة المتصلة بانتقال مستمر يساوي عدد الموارد المخصّصة. وبعد تخصيص الموارد، يمكن توليد نموذج شبكة بتري الهجينة الذي يتضمّن المواقع المستمرة والانتقالات المستمرة والمواقع المتقطعة. إلا أنه لا يمكن توليد الأقواس من الانتقال المستمر إلى الموقع المتقطع إلى أن يُحدّد تسلسل العمل.

2. إذا تقرّر قيام المورد R_k بتنفيذ العمل W_j ، برغم أن W_j كان قد أُنجز بعمل متعدد الآلات فعلاً، يُخصّص R_k للمهمة الآتية. تدرأ هذه القاعدة حصول انسداد أثناء عملية القدح في المنظومة. يمكن للانسداد أن يحصل بسبب تخصيص متعدد للموارد وفقاً للمعادلة 1.5.

3. يجب إنهاء العمل المُجدول. يُضاف إلى ذلك أن عملية القدح تتوقف عندما تُنجز جميع المهام. وتعريف ذلك معطى بالمعادلة 2.5. لكن عملية القدح تعاني من خصائص شبكات بتري الهجينة.

4. يجب إنجاز العمل خلال مدة العمل المحددة من قبل، ويجب أن ينتظر العمل التالي W_j طوال مدة الانتظار بعد إنهاء العمل W_{j-1} . وهذان القيودان معرفان في المعادلة 4.5.

5. استناداً إلى علاقة الأسبقية المقيّدة، لا يمكن لعمل لاحق W_j أن يبدأ إلا بعد انتهاء العمل السابق W_{j-1} . وهذه القاعدة تقابل المعادلة 5.5. فمثلاً، إذا كانت القسيمة في P_{12} أصغر من 3880، لا يمكن للمهمتين T_{124} و T_{125} أن تبدأ حتى لو تحققت الشروط الأخرى التي من مثل مدة الانتظار ومدة التنقل.

6. يجب أخذ مدة التنقل بين المزارع، المعرفة بالمعادلة 6.5، في الحسبان في شبكة بتري الهجينة. في التجربة اقترنت مدة التنقل بانتقال متقطع.

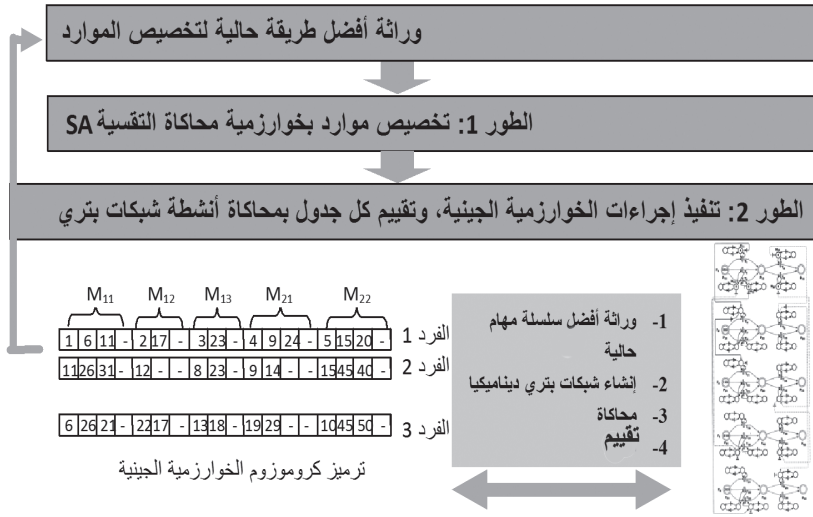
7. يمكن للتوقيعات أن تحصل في أي وقت.

توافق القاعدة 7 الجدولة الآنية. وليس للقيود المعرفة بالمعادلة 3.5 قاعدة مقابلة لها لأن مدد الانتظار لا يمكن أن تتراكم بناءً على خواص القدح الطبيعية في شبكات بتري الهجينة.

إن هذا النموذج يستوعب على نحو جيد العمليات الزراعية التي تحتاج إلى موارد مناسبة، مثل الآلات واليد العاملة. ومن أجل الحصول على جدول شامل طويل الأجل، استعملنا نموذجاً واحداً لصياغة كل مرحلة. إلا أن النموذج يمكن أن يُنمذج أيضاً حالات جدولة مرحلة واحدة من مراحل نمو المحصول، ومن تلك الحالات جدولة الزرع والحصاد. ويتحقق ذلك بجعل T_j صفراً من أجل حجب الأعمال في المراحل الأخرى. وقد عُرِّفت جميع القيود في النموذج بمواقع أو قسائم متقطعة في شبكة بتري. ويمكن إلحاق القيد بمرحلة زراعية معينة بسهولة بإضافة المواقع أو القسائم المتقطعة إلى نموذج شبكة بتري. والملاحظات ذات الصلة بذلك هي: (1) المعادلات يمكن أن تُضاف أو تُعدّل من أجل التكيّف مع الظروف المختلفة، (2) يجب تحديث قواعد القدح في شبكة بتري، (3) فيما يخص أغراض الجدولة الأخرى، تجب إعادة تعريف معيار التقييم.

4.5 خوارزمية لإجراءات تقريبية عامة ثنائية الطور

يتضمّن جدول العمل الزراعي في هذه الخوارزمية تخصيص موارد وتحديد تسلسل للأعمال. وفي الطور الأول منها، تُحدّد طريقة تخصيص الموارد وتُستعمل. وفي الطور الثاني، تُعتبر لائحة الأعمال لأولويات تُرتّب الأعمال فيها تبعاً لأسبقيات معينة (الشكل 4.5). وفي الطور الأول، تُخصّص موارد لكل مهمة بخوارزمية محاكاة التقسية SA. وفي الطور الثاني، تُنفذ خوارزمية جينية ويقيم كل جدول من خلال محاكاة الأنشطة بواسطة شبكة بتري. وفي هذا الطور، تُنفذ عمليات وراثية أفضل سلسلة مهام حالية، وإنشاء شبكات بتري على نحو تطوّري، ومحاكاة الأنشطة بشبكة بتري، وتقييم الجداول. وفي نهاية الدورة التكرارية، تُنتج أفضل طريقة تخصيص موارد حالية، وتورث النتيجة للطور الأول التالي. وتُستعمل لائحة الأولويات من أجل جعل مدة الانتظار بين المهام أصغر، وذلك وفقاً لقواعد القدرح في شبكة بتري.



الشكل 4.5: طريقة الإجراءات التقريبية العامة الثنائية الطور للاستعمال.

1.4.5 استعمال خوارزمية محاكاة التقسية لاستعمال تخصيص الموارد

يمكن تخصيص الموارد في الطور الأول من درء الانسداد في المنظومة، وهو حالة ينتظر فيها عمالان أو أكثر تحرير موارد ولا يحصل أي منها على أي منها. وتُستعمل خوارزمية محاكاة تقسية عادية لإجراء الاستعمال ضمن الشرط المعطى بالمعادلة 1.5.

وتعطى للمتغير x في الخوارزمية قيمة مورد مخصص x' ، وهو متغير مستقل آخر في المنطقة المجاورة لـ x ويمثل تخصيصاً بديلاً للمورد لعمل متعدد الآلات. وفي الآتي وصف لإجرائية خوارزمية محاكاة التقسية:

00: begin

01: initialize temperature T , neighboring space N ;

استبداء درجة الحرارة T والفضاء المجاور N

02: initialize resource assignment x , and minimum fitness min ;

استبداء تخصيص المورد x ، ومعيار الملاءمة الدنيا

03: evaluate fitness $F_x (= gaPls(x))$ in 2nd phase;

حساب F_x في الطور الثاني

04: while (not termination-condition) do

05: for $i = 1$ to N

06: generate another resource assignment x' ;

توليد تخصيص آخر x' للمورد

07: evaluate fitness $F_{x'} (= gaPls(x'))$ in 2nd phase;

حساب $F_{x'}$ في الطور الثاني

08: if($F_{x'} < F_x$) then

09: replace x with x^2 ;

استعاضة عن x بـ x^2

10: else

11: if ($random(0, 1) < \exp(F_x - F_{x'})/T$) then

12: replace x with x^2 ;

استعاضة عن x بـ x^2

13: end if

14: end if

15: if ($F_{x'} < min$) then

16: update min with $F_{x'}$, and memorize x' ;

تحديث min بـ $F_{x'}$ وحفظ x' في الذاكرة

17: end if

18: end for

19: replace T with $(T-T*a)$; $0 < a < 1$

استعاضة عن T بـ $(T-T*a)$

20: end while

21: end

لاحظ أن الرموز في الإجراءات مختلفة عن تلك المدرجة في الجدول 1.5. وبعد أن تخصيص الموارد، يمكن تحديد طول الكروموزوم في الخطوة الآتية من الخوارزمية الجينية، ويمكن إنشاء المواقع والانتقالات في نموذج شبكة بتري الهجينة ما عدا الأقواس.

2.4.5 استعمال الخوارزمية الجينية في جدولة لائحة الأولويات

باستعمال تخصيص الموارد، تبحث الإجراءات التقريبية العامة الثانية عن لوائح أولويات وتولّد جدولاً وفقاً لنموذج شبكة بتري هجينة. وقد طبّقنا التبادل الجيني الوحيد النقطة (OnePoint Order Crossover) والطفرة العكسية الوحيدة البت (One-Bit Reverse Mutation) وانتقاء الروليت (Roulette Selection) المشابهة لتلك المستعملة في الخوارزمية الجينية العادية. وضمّمنا الخوارزمية أيضاً الحفاظ على النخبة (Elite Reservation).

ورمّزت لائحة الأولويات بكروموزوم في الخوارزمية الجينية التي جمّعت فيها المهام (الجينات) تبعاً للعمل W_j . وقُصرت عمليات التبادل الجيني والتطفير على تلك التي بين المهام في نفس العمل W_j . ويُحسب معيار الملاءمة على شكل مجموع مدّة

التنقل ومدة التوقف الطبيعي بين المهام. وتحقق هذا الهدف بمحاكاة الأنشطة بواسطة نموذج شبكة بتري هجينة. وجرى وصف برنامج الخوارزمية الجينية باختصار بالإجراءات (x) gaPls، وتبعتها إجراءات تقييم الملاءمة. ونفذت إجراءات التقييم تبعاً لقواعد القدرح في شبكات بتري. ويولد الجدول عندما تتوقف عملية القدرح، ويُسجّل مع لائحة الأولويات إذا اتّصف بأفضل ملاءمة راهنة.

00: procedure gaPls(x)

01: begin

02: initialize population c with chromosomes sorted by waiting time W_{ij} ;

03: reinitialize population c inheriting best priority list from x ;

04: construct continuous part of hybrid Petri nets;

05: evaluation(c);

06: **while** not-termination-condition **do**

07: selection;

08: crossover;

09: mutation;

10: evaluation(c);

11: end while

12: end

00: procedure evaluation(c)

01: begin

02: for $r=1$ to $popSize$

03: construct the discrete part of the hybrid Petri nets;

- 04: initial time interval τ ; current time $t = 0$;
- 05: while tasks-are-not-completed **do**
- 06: if (firing-conditions-are-satisfied) **then**
- 07: firing and update the amount of tokens in corresponding places;
- 08: end if
- 09: update t with $t + \tau$;
- 10: update the sum of moving time and idle time;
- 11: end while
- 12: if (best-fitness-found) then
- 13: update current best fitness, priority list, and schedule;
- 14: end if
- 15: end for
- 16: end^(*)

3.4.5 إزالة الانسدادات

في الاستمثال العادي، يجب تحريّ التضاربات في استعمال المورد، وذلك بغية إزالة الانسدادات. على سبيل المثال، حينما نحاول تخصيص مورد لعمل ما في عملية استمثال عادية، علينا تدقيق إن كان مستعملاً من قبل عمل آخر في نفس الوقت. وإذا لم يكن ثمة مورد متاح للعمل، انتقل الحساب إلى حالة انتظار حتى يتحرّر أحد الموارد. ونظراً إلى أن مدة الحساب في الخوارزمية الجينية تساوي جداء حجم عناصر المسألة ومدة التوليد والتقييم، تضيع مدة طويلة في حلّ تضاربات استعمال المورد في عملية بحث غير كفوءة. يُضاف إلى ذلك أنه في عملية التقييم في الخوارزمية الجينية،

(*) ارتأى المترجم عدم ترجمتها وذلك لأنها برنامج حاسوبي لا يُترجم. فاللغة المستعملة فيه هي لغة عالمية علمية يفهما الألماني والأرجنتيني والبرازيلي والعربي كما يفهمون كرة القدم وسيمفونيات بيتهوفن (المراجع).

يمكن لبعض الأفراد أن يكونوا حلولاً غير ممكنة إذا كان العمل مجدولاً خلال نافذة زمنية محددة. وفي المقابل، يمكن لتخصيص الموارد أولاً في الاستمثال الثنائي الطور أن يدرأ الانسدادات الناجمة عن تضارب استعمال المورد. يُجدول كل مورد للعمل تبعاً لتسلسل المهام، وتكون الموارد مستقلة بعضاً عن بعض. يُضاف إلى ذلك أن عملية الوراثة في الطور الثاني تتجنب استئناف البحث من نقطة غير معروفة. لذا، تتحسن كفاءة البحث.

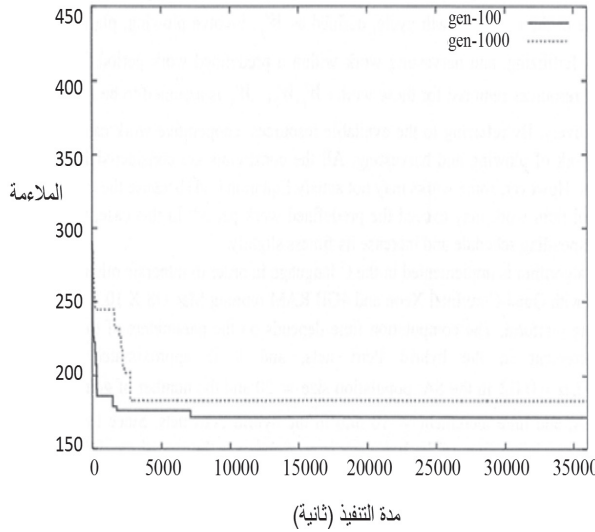
5.5 نتائج تجريبية

أجرينا في هذا المقطع تجربة جدولة تفاعلية طويلة الأجل. وأخذت بيانات التجربة من شركة إنتاج لقصب السكر تُدير 76 مزرعة باستعمال كثير من الآلات. وتضمنت أعمال زراعة قصب السكر الرئيسية W_j في موسم العروة الربيعية أعمال حراثة وزرع وريّ وتعشيب وتسميد ضمن مدد عمل محددة سلفاً. وافترض أن أعداد الموارد المتاحة اللازمة للأعمال W_1, W_2, \dots, W_6 هي على التوالي 1، 1، 1، 1، 1 و3. وفي ما يخصّ الموارد المتاحة، يمكن تطبيق تعدد الآلات في أعمال الحراثة والحصاد. وقد أخذت جميع تلك القيود في الخوارزمية المقترحة، إلا أن بعض الأعمال لا تحقّق المعادلة 4.5 لأن المدة اللازمة لعمل المزرعة الفعلي يمكن أن تتجاوز مدة العمل المحددة مسبقاً. وفي هذه الحالة، سوف نحفظ بالجدول ذي الصلة ونزيد من ملاءمته قليلاً.

لقد كتبنا خوارزمتنا بلغة البرمجة C من أجل المكاملة مع منظومات جزئية أخرى. واستعملنا الحاسوب (محطة العمل) ذا المعالج Quad-Core Intel Xeon مع ذاكرة سعتها 4 جيجا بايت (GB) ونظام التشغيل (Mac OS X 10.5)، منصة للحساب. تعتمد مدة الحساب على موسطات الخوارزميتين SA و GA، وعلى تزايدات الزمن في شبكة بتري الهجينة، وهي تساوي نحو 10 ساعات من أجل: $N = 200, \alpha = 0.02$ في خوارزمية محاكاة التقسية، وعدد أفراد يساوي 20، وعدد أجيال يساوي 200 في الخوارزمية الجينية. ويساوي تزايد الزمن 10 دقائق في شبكة بتري الهجينة. ونظراً إلى أن البرنامج يبدأ الحساب بدءاً من وقت انتهاء آخر عمل في يوم عمل، ويستمرّ حتى بدء وقت أول عمل في اليوم التالي، فإن المدة المسموح بها تقل عن 12 ساعة.

1.5.5 استمثال تخصيص الموارد ولائحة الأولويات

يُري الشكل 5.5 نتائج استمثال تخصيص الموارد ولائحة الأولويات من أجل أحجام أجيال مختلفة في الخوارزمية الجينية. ورُسمت المنحنيات لأفضل ملاءمة حالية بدلالة مدة التنفيذ. يمثل المنحني «gen-100» عملية التطور الجيني العالية التكرار في استمثال تخصيص المورد مع مدة حساب قصيرة لاستمثال لائحة الأولويات. ومن الواضح أنه مقارنة بـ «gen-100»، فإن «gen-1000» يؤكد استمثال لائحة الأولويات، إلا أنه يؤدي إلى تقليص في تكرار عملية استمثال تخصيص المورد، خلال نفس مدة الحساب.

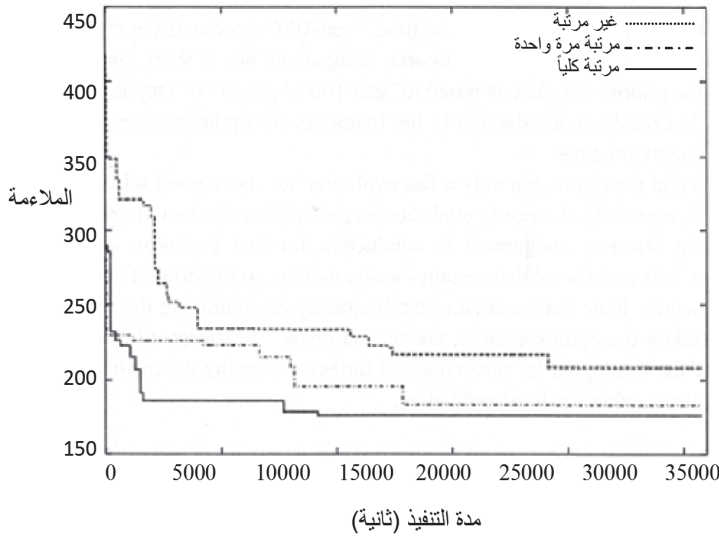


الشكل 5.5: تطور استمثال تخصيص الموارد ولائحة الأولويات.

ووفقاً لما هو مبين في الشكل، لا يظهر تطور سريع في «gen-100» فحسب، بل يظهر أيضاً حل جيد، خاصة في مرحلة تطور مبكرة. وهذا يكشف عن أن زيادة تكرار عملية استمثال تخصيص المورد يؤدي إلى تطور وتقارب سريعين في الحساب. وقد اعتبرنا أن تخصيص المورد هو عامل مهم في توليد جدول جيد. لاحظ أن زيادة تكرار استمثال تخصيص المورد لا يُضعف الاستمثال في الطور الثاني. وقد اعتمدت استراتيجية لوراثة أفضل لائحة أولويات حالية من أجل الحفاظ على جودة الحل وتحسينها في الطور الثاني الذي سوف نناقشه في ما يلي.

2.5.5 استراتيجيات استبداء أفراد الخوارزمية الجينية

إن لمدة الانتظار بين الأعمال W_{ij} تأثيراً كبيراً في جودة الحل عموماً. ويمكن اشتقاق أفضل جدول من المهام المخزونة تبعاً لتسلسل الـ W_{ij} إذا كانت جميعها مختلفة، وإذا أهملت القيود الأخرى. لكن عملياً، تكون مدد الانتظار بين الأعمال متماثلة تقريباً بسبب تجانس الأعمال في المزرعة في جميع المزارع. ويبيّن الشكل 6.5 تأثير ترتيب الأعمال تبعاً للـ W_{ij} في جودة الحلول عندما تكون مدد الانتظار هي نفسها تقريباً بين الأعمال.

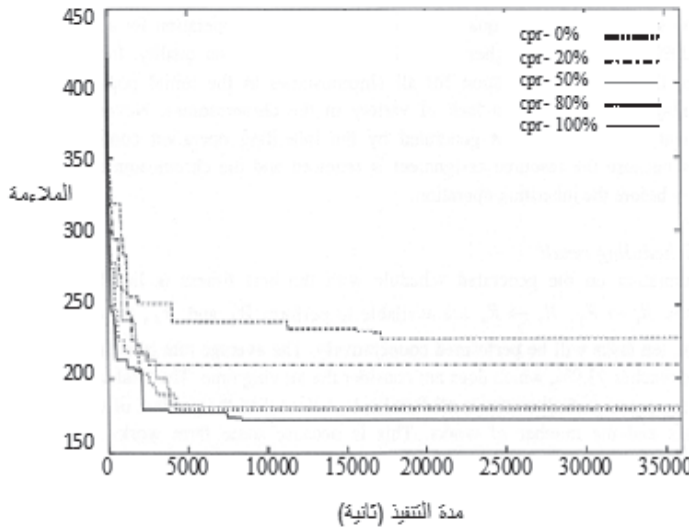


الشكل 6.5: تأثير استبداء الأفراد بواسطة كروموزومات مرتبة.

تُري المنحنيات عملية التطور التي بدأت من ثلاثة أفراد جرى استبدالهم بكروموزومات خام (غير مرتبة)، وكروموزوماً مرتباً واحداً، وكروموزومات مرتبة كلياً. ومن الواضح أن سرعة التطور في المنحني «غير مرتبة» بطيئة مقارنة بتلك التي في المنحنيات الأخرى. وتنتج سرعة تطوّر كبيرة وجودة حل عالية عندما يتضمن استبداء الأفراد ترتيب كل الكروموزومات. وفي ما يخص المنحني الذي يمثل كروموزوماً مرتباً واحداً، تعاني الملاءمة من قيود أخرى، منها مدد التنقل. لذا، تكون سرعة التطور وجودة الحل أضعف من نظيرتيهما في حالة منحني الكروموزومات «المرتبة كلياً». ونظراً إلى أن الكروموزومات مرتبة تبعاً لمدد انتظار متساوية تقريباً، فإنها يمكن أن تنطوي على

اختلافات في ما بينها. لذا فإن الأفراد المكوّنين من كروموزومات مرتبة كلياً تبعاً لـ W_{ij} يمكن أن تقارب أفضل تسلسل باحتمال عالٍ. وتشير هذه المنحنيات الثلاثة بوضوح إلى أن مهام الترتيب تبعاً لمدد الانتظار بين الأعمال تسهم في سرعة تطوّر الحل.

وبعد استمثال الجدولة أول مرة، تُستعمل لائحة الأولويات، ويُثبّت أفضل تسلسل حالي للأعمال لكل مورد. ثم يُورث أفضل تسلسل أعمال حالي من أجل استبداء الأفراد في تخصيص الموارد الثاني. وقد تحرّينا تأثير وراثه أفضل لائحة أولويات حالية عند معدلات وراثه مختلفة. ويُري الشكل 7.5 مقارنة بين النتائج. وبغية تجنّب تأثير مدد الانتظار بين المهام في ترتيب الكروموزومات، استبدأنا الأفراد بكروموزومات غير مرتبة.



الشكل 7.5: تأثير وراثه أفضل لائحة أولويات حالية.

في الشكل 7.5، تشير «cpr-0%» إلى أن الكروموزومات في الأفراد الأوائل وُلدت عشوائياً تماماً. وتعني «cpr-10%» أن 10% من الكروموزومات وُرثت من أفضل لائحة أولويات من تخصيص الموارد السابق، وُلدت بقية الكروموزومات عشوائياً. وبرغم أن عدة منحنيات تتقاطع في بداية التطوّر، فقد رُتبت أفضل ملاءمة نهائية وفقاً للترتيب النزولي لمعدّل الوراثة.

إن نتيجة المقارنة تُؤكّد أولاً أنه يمكن لعملية وراثه جزئية أن تحسّن سرعة التطور وجودة الحل. ثانياً، تُبدي عملية الوراثة لجميع الكروموزومات (cpr-

(100% أعلى سرعة تطور وجودة حلّ. لكنّ في السيناريو العادي، يمكن لعملية الوراثة في كل كروموزومات الأفراد الأوائل أن تكون ضارة بسبب الافتقار إلى تنوّع الكروموزومات. أما في تجربتنا، فتستمر الكروموزومات المتولّدة وراثياً بالتنوّع لأن تخصيص الموارد يتجدّد، والكروموزومات تُولّد عشوائياً قبل عملية الوراثة.

3.5.5 نتيجة الجدولة

يتضمن الجدول 2.5 معلومات عن الجدول المولّد على أساس أفضل ملائمة. الموردان R_1 و R_2 متاحان لتنفيذ العمل W_1 ، والموارد R_7 حتى R_9 متاحة لتنفيذ العمل W_6 . ووفقاً لهذا الجدول، سوف تُنفَّذ عشر مهام بآلات متعددة. ويصل معدّل الاستعمال الوسطي لكل مورد إلى 93.9%، وهذه قيمة لا تأخذ مدد التنقل في الحسبان. أما مقدار العمل الكلي [مقدّراً بوحدة المساحة]، أي كل الأعمال في جميع المزارع، فيقل عن جداء مساحات المزارع الكلية بعدد الأعمال. وهذا لأن بعض الأعمال في المزارع لا تتطلب جدولة، أو لأن مقدار العمل المجدول يقل عن مساحة المزرعة. ويمثّل طول الجدول هنا المدة بين بدء أول مهمة وانتهاء آخر مهمة. لكن طول الجدول ينطبق على العمل في المزارع في أثناء دورة نمو المحصول فقط، في حين أن شركات إنتاج قصب السكر تحتاج عادة إلى وقت لتنفيذ أعمال إضافية في المزارع.

الجدول 2.5: معلومات عن الجدول المولّد.

R_9	R_8	R_7	R_6	R_5	R_4	R_3	R_2	R_1	المورد
11.7	16.5	14.7	25.2	24.0	25.2	15.5	16.3	20.2	مدة التنقل (ساعة)
0.33	1.83	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.0	مدة التوقف (ساعة)
46	53	46	74	71	76	47	52	52	عدد المهام
209.7	208.0	210.0	463.2	406.2	436.5	308.0	298.7	297.7	مدة العمل (ساعة)
0.944	0.921	0.930	0.946	0.941	0.942	0.950	0.945	0.932	معدّل الاستعمال
						10	مدد تنفيذ العمل المتعدد الآلات		

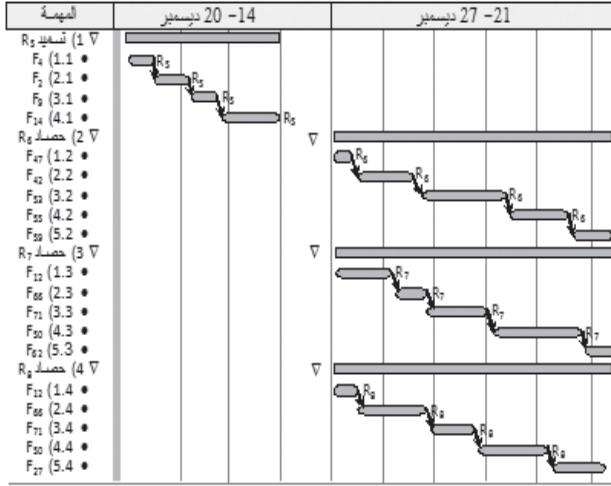
	9.36	مساحة الأراضي الكلية (هكتار)
	49.2	مقدار العمل الكلي (هكتار)
	2127.5	طول الجدول (ساعة)

يمكن استخلاص بعض المعلومات القيّمة بسهولة من نتيجة المحاكاة. على سبيل المثال، إذا جُمعت نافذة الزمن المتكيفة لعمل الحراثة 60 يوماً، أمكن لعدد أيام العمل أن يساوي 47.5 يوماً، وذلك بعد استثناء أيام العطل والأيام المحجوزة المخاطر مثل المطر وغيره من الحالات غير الأكيدة. حينئذٍ تصبح المدد غير الجدولة للموردين R_1 و R_2 و 82.3 و 81.3 ساعة. وتُخصّص الأوقات غير الجدولة عادة للأعمال الإضافية.

لقد حوّلنا جزءاً من الجدول المولّد إلى الجدول العملي المبين بمخطط غانت في الشكل 8.5. تساوي مدة العمل في يوم العمل 8 ساعات، وتُقابل القضبان الأفقية الأعمال، وتدلّ أطوالها على مدد تنفيذ الأعمال بواسطة الموارد المخصّصة. وتمثّل الوصلة بين قضيبين تسلسل العمل متضمناً مدة التنقل بين المزارع. وأظهرت الموارد على الجانب الأيمن من القضبان. ويتعاون R_7 و R_8 معاً لحصاد الأرض F_{66} . ويدخل R_7 العمل التعاوني بعد R_8 . لكنهما ينهيان عملهما معاً.

6.5 مناقشة

في هذا المقطع، اعتمدت طريقة استمثال من طورين لحل مسألة جدولة العمل الطويل الأجل في المزرعة. وقد ركّزت الدراسة الاهتمام في منهجية نمذجة وحل مسألة جدولة العمل في المزرعة بواسطة الطريقة التقريبية العامة. لكن كثيراً من القيود التفصيلية والحالات غير الأكيدة الناجمة عن الطقس وتعطل الآلات وغياب العمال أهمل في المحاكاة. واستوعب نموذج لشبكة بتري هجينة على نحو جيد الأحداث المتقطعة والمستمرة والمتزامنة والسكونية والمتغيرة في العمليات الزراعية. والطريقة التي أثبتت لاستمثال تخصيص الموارد قابلة للاستعمال أيضاً لحل مسألة الجدولة بواسطة إجراءات تقريبية عامة ثنائية الطور، خاصة في حالة النظر في الأعمال المتعددة الآلات. ومع أن النتيجة ليست قابلة للتطبيق على الجدولة الآنية التي تهتم بالحالات غير الأكيدة التي تحصل في الزمن الحقيقي، تبقى ذات قيمة كبيرة للجدولة الطويلة الأجل من أجل وضع خطة زراعية تمهيدية شاملة في كل موسم للمحصول.



الشكل 8.5: جزء من الجدول أظهر على شكل مخطط غانت.

لقد استعملنا نموذجاً واحداً لنمذجة منظومة الإنتاج الزراعي، وذلك بناءً على هدف البحث الرئيسي. ويتّصف النموذج المقترح بتوافق وقابلية للتوسيع على نحو جيد لنمذجة الأعمال في جميع مراحل الدورة الزراعية. وتتصف بعض الحالات غير الأكيدة بتوزّع احتمالي. فمثلاً، الطقس المشتق من بيانات تاريخية والتنبؤ بالطقس يمكن أن يُصاغ أيضاً بواسطة نموذج شبكات بتري. وقرون شعاع زمني بتوزّع احتمالي لانتقالات شبكة بتري يمكن أن يحقق هذا الغرض. وقد قادنا التعامل مع متغيّرات من هذا النوع من المتغيّرات العشوائية إلى تطوير نهج جدولة عشوائي في كل من الجدولة الطويلة الأجل والجدولة الآنية ضمن عملنا المتواصل.

لقد استغرقت حسابات الجدولة الطويلة الأجل عدة ساعات بسبب حجم المسألة الكبير. وصرّفت أطول مدة في تكرارات الخوارزمية الجينية وفي محاكاة شبكات بتري الهجينة. ومع أن تلك المدة كانت ضمن الحدود المسموح بها، فإنه يجب تحسين الخوارزميات المقترحة. ويتوقّع أن تكون إحدى الطرائق الكفوءة في التقارب السريع [للتكرارات]، وهي التبادل الجيني الجزئي وتبادل تركيب الحواف، أفضل من التبادل الجيني الوحيد النقطة الذي اعتمد في هذا البحث. يُضاف إلى ذلك أن الحوسبة المتوازية تمثل استراتيجية مغرية لتقليص مدة الحساب.

7.5 خلاصة

جرى في هذا المقطع تطوير طريقة تقريبية عامة ثنائية الطور للجدولة الطويلة الأجل للعمل في المزارع بوجود قيود. وكشفت النتائج التجريبية لتطور الحل عن تحقيق تطور سريع وجودة عالية للحل من خلال تركيز الاهتمام في استمثال تخصيص الموارد، واستبداء لوائح أولويات مرتبة وفقاً لمدد الانتظار بين الأعمال، واستبداء لوائح أولوية موروثه من أفضل تسلسل مهام حالي في تخصيص الموارد السابق. واتصف الجدول المولد بنسبة عالية من استعمال الموارد، وهو قابل للتطبيق في وضع خطة زراعية طويلة الأجل لدى الشركات الزراعية ذات الأنشطة المعتادة من مثل العمل المتعدد الآلات ومدد تنقل الآلات ومدد الانتظار بين الأعمال.

خلاصة

قدّمنا في هذا الفصل نموذج شبكات بتري هجينة لنمذجة تسلسل العمل في المزرعة، وإجراءات تقريبية عامة ثنائية الأطوار لجدولة العمل في المزرعة بوجود قيود، مع التطبيقات ذات الصلة بإدارة العمل لدى الشركات الزراعية الكبرى.

واستعرضنا نموذجاً لتسلسل العمل في المزرعة والعمل المتعدد الآلات والتوقعات، ومراقبة الحالتين عند البدء والجارية للمزرعة والموارد. وبيّنت نتائج التجارب أن نموذج شبكة بتري الهجينة هو نموذج واعد لوصف العملية الزراعية وصفاً دقيقاً، وإعادة تخصيص الموارد بوجود الحالات غير الأكيدة.

وفي الجدولة التقريبية الثنائية الأطوار، كشفت النتائج التجريبية الخاصة بتطور الحل أنه قد تحقّق تطور سريع وجودة عالية من خلال استمثال تخصيص الموارد واستبداء لوائح الأولوية تبعاً لمدد الانتظار بين المهام، واستبداء لوائح الأولويات الموروثة من أفضل تسلسل مهام حالي في تخصيص الموارد السابق. وأدى تخصيص الموارد أولاً، في الاستمثال الثنائي الأطوار من أجل إزالة الانسدادات، إلى تحسين كثير في مردود البحث عن أفضل الجدول. وأخذت في الحسبان أنشطة معتادة، مثل العمل المتعدد الآلات ومدد تنقل الآلات ومدد الانتظار بين الأعمال أثناء العملية الزراعية، وجرى توليد جدول يحقّق نسبة استعمال عالية للموارد في التجربة بواسطة الإجراءات التقريبية العامة الثنائية الطور.

وفي إدارة العمل المتكاملة في المزرعة، طبّق نموذج شبكة بتري الهجينة مع

خوارزمية تقريبية ثنائية الأبعاد على منظومة الجدولة، وجرت متابعة العمل اليومي في المزرعة بواسطة حاسوب مرتبط بالويب. وجرى التثبيت أيضاً من الإمكانية التقنية والجدوى الاقتصادية لاستعمال تكنولوجيا الهاتف الخليوي المزود بمستقبل GPS في المنظومة المتكاملة. وقد وُجد أن الانحراف المعياري للخطأ في تحديد الموقع يساوي 14.6 متراً، وهذا يدل على أن دقة GPS الهاتف الخليوي كافية لتحديد المزارع التي سوف يجري العمل بها. ويستغرق إدخال مجموعة من السجلات إلى الجهاز بواسطة لوحة مفاتيح الهاتف الخليوي نحو 1-2 دقيقة. وكانت نفقات الاستثمار في بناء وتشغيل المنظومة معقولة لكل من الشركات الزراعية والمزارعين العاديين.

تمثل الطرائق المقترحة سبيلاً مرجعياً لإنشاء نهج تقريبي لا يقتصر على حل مسألة جدولة العمل في المزرعة فقط، بل يمكنه أيضاً حل مسألة الجدولة الشائعة عموماً بوجود قيود.

وفي المستقبل سوف تُركّز الاهتمام في الجدولة الآنية، والجدولة العشوائية للحالات غير الأكيدة، وتقليص مدة الحساب، والمقارنة التجريبية بالعمليات الفعلية القائمة لدى الشركات الزراعية الكبرى.

مراجع

[1] Arjona, E., Bueno, G. & Salazar, L. (2001). An activity simulation model for the analysis of the harvesting and transportation systems of a sugarcane plantation. *Computers and Electronics in Agriculture*; 32, 247-264.

[2] Astika, I. W., Sasao, A., Sakai, K. & Shibusawa, S. (1999). Stochastic farm work scheduling algorithm based on short range weather variation. *Journal of the Japanese Society of Agricultural Machinery*, 61, (2)157-164, (3)83-94, (4)141-150.

[3] Bassett, M. H., Pekny, J. F. & Reklaitis, G. V. (1997). Using detailed scheduling to obtain realistic operating policies for a batch processing facility. *Industrial Engineering and Chemical Research*, 36, 1717-1726.

[4] Breunig, M. & Baer, W. (2004). Database support for mobile route planning systems. *Computers, Environment and Urban Systems*, 28, 595-610.

[5] Chekuri, C. & Motwani, R. (1999). Precedence constrained scheduling to minimize weighted completion time on a single machine. *Discrete Applied Mathematics*, 98, 29-39.

[6] Chen, L. H. & McClendon, R. W. (1985). Soybean and wheat double cropping simulation model. *Transaction of the ASAE*, 28, 65-69.

[7] Cook, W., Cunningham, W., Pulleyblank, W. & Schrijver, A (1998). *Combinatorial Optimization*. Wiley, New York.

[8] Cottrel, W. (1999). Simplified program evaluation and review technique (PERT). *Journal of Construction Engineering and Management*, 125, 16-22.

[9] Daikoku, M. (2005). Development of computer-assisted system for planning work schedule of paddy and transplanting in distributed fields. *Japanese Journal of Farm Work Research*, 40, 210-214, (In Japanese).

[10] David, R. & Alla, H. (2001). On hybrid Petri nets. *Discrete Event Dynamic Systems*, 11,9-40.

[11] Djordjevic, G. & Tomic, M. (1996). A heuristic for scheduling task graphs with communication delays onto multiprocessors. *Parallel Computing*, 22, 1197-1214.

[12] Dotoli, M., Fanti, M., Giua, A. & Seatzu, C. (2008). First-order hybrid Petri nets. an application to distributed manufacturing systems. *Nonlinear Analysis: Hybrid Systems*, 2, 408-430.

[13] ESRI (1998). ESRI shapefile technical description. An ESRI White Paper, 1-25.

[14] ESRI (2004). Developing map viewing applications with J2MB and ESRI server-side technologies. *An ESRI Technical Paper*, 1-12.

[15] Febraro, A. D. & Sacco, N. (2004). On modelling urban transportation networks via hybrid Petri nets. *Control Engineering Practice*, 12, 1225-1239.

[16] Garey, M. R. & Johnson, D. S. (1979). Computers and

Intractability: A Guide to the Theory of NP-Completeness. W. H. Freeman, New York.

[17]Ghaeli, M., Bahri, P. A. & Lee, P. L. (2006). Timed arc hybrid Petri nets based scheduling of mixed batch/continuous plants. *Proceedings of the 17th IMACS World Congress*.

[18]Guan, S., Matsuda, H., Shikanai, T. & Nakamura, M. (2006a). Petri nets modeling and scheduling for farm work planning. International Technical Conference on Circuits/Systems, *Computers and Communications*, 2, 465-468.22

[19]Guan, S., Shikanai, T., Minami, T., Nakamura, M. & Ueno, M. (2006b). Development of a system for recording farming data by using a cellular phone equipped with GPS. *Agricultural Information Research*, 15, 241-254.

[20]Guan, S., Nakamura, M., Shikanai, T. & Okazaki, T. (2008). Hybrid Petri nets modeling for farm work flow. *Computers and Electronics in Agriculture*, 62,149-158.

[21]Haffar, I. & Houry, R. (1992). A computer model for field machinery selection under multiple cropping. *Computers and Electronics in Agriculture*, 7, 219-229.

[22]Higgins, A. & Davies, I. (2005). A simulation model for capacity planning in sugarcane transport. *Computers and Electronics in Agriculture*, 47, 85-102.

[23]Janak, S. L. & Floudas, C. A. (2006). Production scheduling of a large-scale industrial batch plant. II. Reactive scheduling. *Industrial and Engineering Chemistry Research*, 45, 8253-8269.

[24]Jin, Y. & Branke, J. (2005). Evolutionary optimization in uncertain environments - A survey. *IEEE Transactions on evolutionary computation*, 9, 303-317.

[25]Kaakai, F., Hayat, S. & Moudni, A. (2007). A hybrid Petri nets-based simulation model for evaluating the design of railway transit stations. *Simulation Modelling Practice and Theory*, 15, 935-969.

[26] Laarhoven, P., Aarts, E. & Lenstra, J. (1992). Job shop scheduling by simulated annealing. *Operations Research*, 40, 113-125.

[27] Lal, H., Peart, R. M., Jones, J. W. & Shoup, W. D. (1991). An object-oriented field operation simulator in PROLOG. *Transaction of the ASAE*, 34, 1031-1039.

[28] Li, Z. & Ierapetritou, G. (2008). Process scheduling under uncertainty: Review and challenges. *Computers and Chemical Engineering*, 32, 715-727.

[29] Lin, X, Janak, S. & Floudas, C. (2004). A New Robust Optimization Approach for scheduling Under Uncertainty : I. Bounded Uncertainty. *Computers and Chemical Engineering*, 28, 1069-1085.

[30] Man, K., Tang, K. & Kwong, S. (1999). *Genetic Algorithms: Concept and Design*, Springer-Verlag, Berlin.

[31] Murata, T. (1989). Petri nets: Properties, analysis and Applications. *Proceedings of the IEEE*, 77, 541-580.

[32] Nanseki, T. (1998). Operations of FAPS97: A decision support system for evaluating Agricultural technology and farm planning. *Miscellaneous Publication Tohoku National Agricultural Experiment Station*, 21, 1-199 (In Japanese).

[33] Nanseki, T., Matsushita, S. & Ikeda, M. (2003). A farming-Systems Database for Farm Planning. *Agricultural Information Research*, 12, 133-152, (In Japanese).

[34] Okinawa Prefecture (2008). Statistics on Agriculture of Okinawa Prefecture. http://www.3.pref.okinawa.jp/site/view_cateview.jsp?cateid=108, (In Japanese).

[35] Otuka, A. and Yamanaka, T. (2003). An Application for insect field surveys using a handheld computer. *Agricultural Information Research*, 12, 113-124, (In Japanese).

[36] Pham, D. T. and Karaboga, D. (1998). Intelligent Optimization Techniques, Genetic Algorithms, Tabu Search, Simulated Annealing and Neural Networks. *Springer-Verlag New York, Inc.*, Secaucus, NJ, USA.

[37] Sadrieh, S., Ghaeli, M., Bahri, P. and Lee, P. (2007). An Integrated Petri nets and GA Based Approach for Scheduling of Hybrid plants. *Computers in Industry*, 58, 519-530.

[38] Santiago-Mozos, R., Salcedo-Sanz, S., DePrado-Cumplí, M. & Bousoño Calzon, C. (2005). A two-phase heuristic evolutionary algorithm for personalizing course timetables: A case study in a Spanish university. *Computers and Operations Research*, 32, 1761-1776.

[39] Sikanen, L., Asikainen, A. & Lehtikoinen, M. (2005). Transport control of forest fuels by fleet manager, mobile terminals and GPS. *Biomass and Bioenergy*, 28, 183-191.

[40] Sinnen, O. & Sousa, L. (2001). Scheduling task graphs on arbitrary processor architectures considering contention. In Int. Conf. on High Perf. Computing and Networking, *Lecture Notes in Computer Science*, 373-382.

[41] Suliman, S. (2000). A two-phase heuristic approach to the permutation flow-shop scheduling problem. *International Journal of Production Economics*, 64, 143-152.

[42] The Ministry of Agriculture, Forestry and Fisheries of Japan (2006). Japan's post-war agricultural land reform and subsequent agricultural land system. National Report for the International Conference on Agrarian Reform and Rural Development.

[43] Till, J., Sand, G., Urselmann, M. & Engell, S. (2007). A hybrid evolutionary algorithm for solving two-stage stochastic integer programs in chemical batch scheduling. *Computers and Chemical Engineering*, 31, 630-647.

[44] Tsai, Y. J., Jones, J. & Mishoe, J. (1987). Optimizing multiple cropping systems: A systems approach. *Transaction of the ASAE*, 30, 1554-1561.

[45] Wang, J. (2004). A fuzzy robust scheduling approach for product development projects. *European Journal of Operational Research*, 152, 180-194.

[46] Zhang, X. & Sargent, R. (1996). The optimal operation of mixed production facilities A general formulation and some approaches for the solution. *Computers and Chemical Engineering*, 20, 897-904.

الفصل الثالث

مستجدات التقدّم في البرمجيات الزراعية : نظرة إجمالية

Daniela de C. Lopes and Antonio J. Steidle Neto

Federal University of São João del-Rei, Campus Alto Paraopeba,

MG 443, km 07, Ouro

Branco, Minas Gerais, Brazil, CEP 36420-000

Federal University of São João del-Rei, Campus Sete Lagoas, MG

424, km 65, Sete

Lagoas, Minas Gerais, Brazil, CEP 35701-970

ملخص

تُعدُّ عمليات المحاكاة والمراقبة والتحكُّم أُسس الإدارة الزراعية الحديثة. والهدف الرئيسي للباحثين في هذا المجال هو تحسين كفاءة هذه الإجراءات، وزيادة ميزها ودقتها وسرعتها باستعمال مفاهيم جديدة وأدوات مبتكرة. لذا أصبح استعمال الأدوات القائمة على البرمجيات للتحكُّم في العمليات الزراعية ومراقبتها وتقييم حجمها ومحركاتها أكثر أهمية ووثوقية. ومع مرور السنين، أدّى تعدد الاستخدمات والدقة وسهولة الاستعمال التي توافرها البرمجيات والمنظومات التي تُدار بها إلى الاهتمام المتزايد بها من مجتمع الهندسة الزراعية. وقد تبيّن أن المنظومات الجديدة القائمة على الروبوتية، ونقل البيانات عبر الإنترنت، وآلات الذكاء الصناعي، وغيرها من التكنولوجيات تستطيع تقليص اعتماد الزراعة الحالي على المنتجات الكيميائية، وتحسين استدامتها، وتقليل مفعولها البيئي واستمثال إدارتها. لذا على الباحثين العمل ضمن مجموعات بحث متعددة الاختصاصات ومواكبة التطوُّر

السريع للتكنولوجيات الحاسوبية. وهذه المقالة تتضمن نظرة إجمالية إلى التطورات في هذا المجال بين عامي 2005 و2008، مركزة الاهتمام على تطبيقات الزراعة الدقيقة وإدارة الأعمال الزراعية ودعم القرار في الاقتصادات الزراعية.

تقديم

يمكن اعتبار الزراعة صناعة متشعبة تهدف إلى زيادة المداخيل الريفية، وتسعى إلى ضمان استدامة طويلة الأجل لقاعدة مواردها الطبيعية. وهي تشتمل على أنشطة متنوعة تؤثر في قطاع واسع جداً من أصحاب المصلحة، ومنهم المستهلكون والمزارعون والحكومة والصناعة والمجتمع برمته (Rao, 2007).

وتمثل محاكاة العمليات ومراقبتها والتحكم فيها أسس الإدارة الزراعية. يُضاف إلى ذلك أن التدفق الجيد للمعلومات والمعرفة أمرٌ جوهري لتخطيط التدخلات في جميع حلقات سلسلة الإمداد الزراعي، ولتقليص الضياعات والحفاظ على الموارد الطبيعية وتحسين الإنتاج. لذا جرت مزاوجة الزراعة على نحو متزايد مع تكنولوجيات جديدة تُكامل تجهيزات المعلومات، مثل الحواسيب الشخصية، مع تجهيزات الاتصال، مثل الهواتف وشبكات الاتصالات، أو التجهيزات الإلكترونية الأخرى، مثل المجسات وغيرها من المشغلات الكهرميكانيكية.

وفي الواقع، تحتاج الإدارة الزراعية إلى أدوات مبتكرة لتحليل تغيّرات العمليات الزمنية والمكانية ولتحرّيّ الوسائط ذات الصلة بالاستدامة (Chertov et al., 2005). ومن المستجدات التكنولوجية المستعملة في الزراعة منظومات آلية تقوم على المجسات وحوارزميات التعامل معها، ومنظومات قائمة على المعلومات الجغرافية، وأدوات اتخاذ القرار، وبرمجيات محاكاة وتطبيقات الرؤية الآلية. إن جميع هذه التكنولوجيات يمكن أن تُضم بعضاً إلى بعض لتوفير منظومات قوية يمكن استعمالها في قطاعات الزراعة المختلفة.

وتمكّن المنظومات الآلية من تحصيل البيانات والتحكم في العمليات على نحو أكثر دقة، إضافة إلى تقليص اليد العاملة. وهذا يزيد من وثوقية إدارة العمليات ويقلل من إجهاد المشغلين، مؤدياً إلى أداء أفضل على المدى البعيد. وتمكّن إضافة منظومات آلية إلى التصاميم القائمة كي تصبح تامة الاستقلال. وعلى وجه العموم، يمكن أيضاً إيقاف المنظومات الآلية واستعمالها يدوياً تبعاً لاحتياجات المزارعين (Benson et al., 2003).

وتُفيد أدوات دعم القرار في كثير من العمليات الزراعية التي يجب أن تُدار وفقاً لمعيار معقد لاتخاذ القرار، أو وفقاً لبنى المسائل التي تشتمل على آفاق تخطيط قصيرة وطويلة الأجل. وفي الحالة الأخيرة، يمكن لتحليل القرار أن ينظر في بنية المسألة والعواقب المحتملة لجميع البدائل المقترحة وأفضليات متخذ القرار، وذلك من خلال مقارنة البدائل وتحديد أفضلها. وعلى وجه العموم، تُكامل أدوات دعم القرار البيانات وآراء الخبراء مع نماذج بحث تحليلية وتشغيلية بواسطة شاشة إظهار بيانية وتقارير مجدولة، كاشفة الأساس الداعم للقرارات البديلة. إن منظومات دعم القرار تمكّن مستخدميها من الوصول إلى المعلومات بطريقة منهجية، لولاها يصبح من الصعب أن تكون متوافرة إلا للخبراء. يُضاف إلى ذلك أنه من خلال استعمال هذه الأدوات، تُوثق عملية اتخاذ القرار آلياً، ولذا تكون موضوعية (Lexer et al., 2005).

ويمكن النظر إلى منظومة المعلومات الجغرافية GIS على أنها قاعدة بيانات رقمية ذات أغراض خاصة، تمثل فيها منظومة الإحداثيات المكانية الشائعة الهدف الرئيسي لحزن البيانات والمعلومات والوصول إليها. وقد استعملت هذه التكنولوجيا على نطاق واسع في الزراعة من أجل تنفيذ مهام كثيرة، اعتماداً على البيانات المكانية والدلالية المخزونة فيها. وتمكّن منظومة المعلومات الجغرافية أيضاً من مكاملة تكنولوجيات جغرافية مختلفة، مثل الاستشعار عن بُعد (Remote Sensing) والـ GPS والتصميم بمساعدة الحاسوب وإنشاء الخرائط آلياً وإدارة المرافق. أي من الممكن مكاملة البيانات مع تقنيات تحليلية وتقنيات لاتخاذ القرار لتوفير الدعم له (Malczewski, 2004).

أما أدوات المحاكاة فهي مفتاح لتحسين كفاءة التصميم وإدارة المشاريع، مع تقليص الجهد المبذول والمال المنفق. وتوافر نماذج المحاكاة مزايا مهمة في تطبيقاتها في المسائل الزراعية والبيئية، ومن ذلك إعادة استعمال معادلات النموذج في سياقات مختلفة، ومن خلال واجهات مستعمل مختلفة تمثل تشكيلات لبنى النموذج أكثر ملاءمة لمسألة معينة أو للتعاون بين فرق النمذجة المختلفة (Moore et al., 2007). وقد استعملت برمجيات المحاكاة بمساعدة الحاسوب على نطاق واسع في التحكم في التكامل الزراعي، وفي مراقبة وتحليل المنظومات ذات الصلة بعلم البيئة والاقتصاد والتغيرات السكانية والتبدلات المناخية وغيرها.

واستعملت منظومات الرؤية الآلية على نحو متزايد في الصناعة الزراعية لأغراض التفطيش والتقييم. وقد حفزت المستجدات المتقدمة المستمرة في عتاديات

وبرمجيات معالجة الصورة عدة دراسات لتطوير هذه المنظومات لتقييم جودة المنتجات المختلفة وسلوك الحيوانات (Brosnan and Sun, 2002, Du and Sun, 2004). واستُعملت منظومات التصوير الطيفي الشامل أيضاً لتحديد نطاقات طيفية أمثلية، وتطوير خوارزميات لتحليل كثير من المنتجات الزراعية والحيوانات. وبوجود نطاقات طيفية أمثلية معرّفة، يمكن تنفيذ منظومات تصوير متعدّدة الأطياف لتطبيقات الإنترنت وتطبيقات الزمن الحقيقي. ويمكن لمنظومات الرؤية الآلية أن تكون دقيقة وغير إتلافية، وأن تعطي نتائج منسجمة. وقد استُعمل هذا النوع من التطبيقات بغية تحسين إنتاجية الصناعة، ومن ثمّ تخفيض التكاليف وجعل التطبيقات والمعالجات الزراعية أكثر أماناً للمزارعين وعمّال خطوط المعالجة. ويمكنها أن تساعد على توفير جودة أفضل ومنتجات أكثر أماناً للزبائن أيضاً (Chen et al., 2002).

لنلقي في هذا الفصل نظرة عامة على تطور الأدوات الزراعية القائمة على البرمجيات بين عامي 2005 و2008، مركزين الاهتمام على تطبيقات الزراعة الدقيقة وإدارة المزرعة ودعم القرار والاقتصاد الزراعيين.

المنظومات الآلية في الزراعة

بغية تحسين كفاءة إجراءات جمع البيانات، والدقة التي تُدار بها العمليات الزراعية، استُعملت منظومات مؤتمتة لمراقبة الطقس والري وحالة المحصول وسلوك الحيوانات وغيرها من المتوسطات، وتقدير قيمها والتحكّم فيها. وتوافر المجسّات معلومات لأغراض التحكّم في المنظومة وحفظ سجلاتها. وتُكامل الخوارزميات ضمن منظومات التحكّم أو النماذج الحاسوبية بغية تفعيل التجهيزات وتحليل البيانات، أو تنفيذ عمليات مستقلة.

واستُعملت البيانات المستخلصة من مراقبة المحصول على نطاق واسع من أجل مقارنة طرائق الإدارة المختلفة باختلاف الزمن والمكان، ولتتكامل مع المعلومات البيئية أيضاً. وتُحفّز عوامل أخرى أيضاً، مثل اليد العاملة والمنافسة، تطوير المنظومات الآلية لاستعمالها في زراعة المحاصيل. فبتحسين كفاءة اليد العاملة أو تقليص مقدارها بواسطة المنظومات الآلية، يمكن تسريع العمليات وتحسين الإنتاج وتحفيز اليد العاملة الماهرة.

وفي هذا السياق، طوّر (Helmer et al., 2005) تكنولوجيا بسيطة موثوقة للتسجيل الآلي لبيانات عن نمو محصول البندورة (الطماطم) والمياه المستعملة لها، وذلك لاستعمالها في البيوت الزجاجية التجارية، وتلك الخاصة بالبحوث. وتسمى المنظومة المطوّرة كروب أسست (CropAssist)، وتُستعمل فيها أزواج من مجسّات الحمل الميكانيكي وتقنيات تداول للبيانات الكثيفة، وذلك من أجل القياس الآلي لما يصل إلى 11 موسطاً من موسطات الرّي والموسطات الفيزيولوجية. وتقيس مجموعة من مجسّات الحمل أيضاً كتلة الزراعة النامية ذات العلاقة الموضوعية ضمن حوض لتجميع الرّشاحة، وهذا يمكن من تقدير استعمال مياه الري وخمسة موسطات ري أخرى. وتُعلّق مجموعة أخرى من المجسّات في الأعلى لقياس كتلة الغطاء النباتي، ومن ثمّ مقدار النمو خلال 24 ساعة، إضافة إلى كتلة الثمار المجنية. وتُجمّع بيانات المجسّات بواسطة جهاز تحصيل بيانات، وتُخضع لمعالجة أولية فيه، وتُسجّل كل 5 دقائق. ثم تُنقل البيانات إلى حاسوب شخصي بواسطة مودم قصير المسافة. وتُستعمل في المنظومة برمجيات كروب أسست مع نظام تشغيل مايكروسوفت ويندوز (Microsoft Windows)، وهي تحتاج إلى عدد من البريمجات، مثل PC208W، وهي رزمة برمجيات لتشغيل جهاز تحصيل البيانات من شركة كامبل ساينتفك (Campbell Scientific Inc.). وكُتبت برمجيات أخرى ذات صلة بإدارة الملفات ومعالجة البيانات بلغة برمجة Microsoft Visual Basic 6.

وعرض فان هنتن (Van Henten et al., 2006) روبوتاً ذاتي الإدارة لإزالة أوراق نبات الخيار (القثاء) الذي ينمو على عريشة من أسلاك مرتفعة. تجب إزالة أوراق الجزء السفلي من النبات بسبب نشاطها المنخفض وإسهامها القليل في التركيب الضوئي اليخضوري في الغطاء النباتي، وحساسيتها الشديدة للأمراض الفطرية. من حيث المبدأ يوضع الروبوت بحيث يكون أحد مفعّلات أطرافه عند الطرف السفلي من النبات، حيث تكون الأوراق قد أزيلت أثناء دورة إزالة أوراق سابقة. ثم يتحرّك ذراع الروبوت إلى أعلى على طول مقطع معرّف سابقاً من الجذع وينزع الأوراق. وقد استعملت منظومة رؤية بالأشعة تحت الحمراء القريبة، قائمة على الحاسوب، لكشف الجذع. وبيّنت التجارب المُجرّاة في بيت زجاجي بوضوح الجدوى العملية لهذا المفهوم. وكان أداء منظومة الرؤية ومنظومة التحكم في حركة الروبوت جيداً نسبياً. إلا أن مؤلّفني المقالة يرون أن ميكانيك مفعّل الذراع يُمكن أن يُخفق، وأنه يحتاج إلى إعادة تصميم. وبدورة مدتها 140 ثانية لنزع كل ورقتين وسطياً، تكون

سرعة تنفيذ الروبوت لنزع الأوراق أبطأ بـ 35 مرة من النزع اليدوي. لذا، ومن أجل الجدوى الاقتصادية، يجب تقليص مدة تلك الدورة.

وطور فليديس (Vellidis et al., 2008) وقيّم نموذجاً أولياً لمصفوفة مجسات ذكية تعمل في الزمن الحقيقي لقياس رطوبة التربة ودرجة حرارتها باستعمال مكونات جاهزة تجارياً. وتتألف المنظومة من مستقبل مركزي موصول مع حاسوب شخصي يُنفذ برمجيات تحصيل بيانات، وعُقد مجسات متعددة مثبتة في الحقل. وتتألف عُقد المجسات من مجسات (ما يصل إلى ثلاثة مجسات لرطوبة التربة وما يصل إلى أربع مزدوجات حرارية) ودارة إلكترونية مصممة خصيصاً لهذا الغرض، مع لصيقة تعريف بالترددات الراديوية (RFID) تُرسل البيانات إلى المستقبل. وتوافر مصفوفة المجسات الذكية المذكورة إمكانية للمراقبة الموثوقة لحالة ماء التربة المتغيرة من مكان إلى آخر في الحقول الزراعية. وهي منظومة رخيصة الثمن نسبياً وتساوي تكلفتها نحو 2400 دولار أميركي لعقدة تتألف من 20 مجساً. ومن مزاياها الأخرى عمرها المديد، إذ يُتوقع أن تعيش العقدة نحو 5 سنوات، وهذا يسمح بتركيب مجموعة كثيفة من مجسات رطوبة التربة التي يمكن أن تقيس على نحو جيد تغير رطوبة التربة المتأصل في الحقول الزراعية. ووفقاً لما يقوله مؤلفو المقالة، سوف تعطي مكاملة المجسات مع برمجيات وتكنولوجيا ربيّ دقيقة منظومة ربيّ مغلقة الحلقة تُحدّد فيها معلومات المجسات أوقات ومقادير الريّات في الزمن الحقيقي تبعاً للموقع.

واقترح إيغاثنتان (Igathinathane et al., 2006) استعمال الحاسوب لتحديد مساحة ورقة النبات وطول محيطها. واستعمل هؤلاء المؤلفون من أجل ذلك برمجيات حاسوبية مطوّرة بلغة بيزيك المرئية (Visual Basic)، مع شاشة حاسوب بوصفها سطح عمل لرسم الورقة وتحديد مساحتها وطول محيطها وطولها وعرضها. وأجريت القياسات على عينات من أوراق فعلية ذات أشكال ومقاسات مختلفة، من نباتات المانغو والغوافة والبادنجان والخروع. وقورنت النتائج أيضاً بنتائج الطرائق البيانية والمساحية الرقمية المعروفة. وعلى وجه العموم، وُجد أن قياسات مساحات الأجسام الهندسية وأطوال محيطاتها مستقلة عن اتجاه الورقة وشكلها ومقاسها. إلا أن أطوال محيطات المربعات والمستطيلات التي قيست بطرائق حاسوبية تأثرت بتوجيه الجسم. وقاربت نتائج قياسات عينات أوراق فعلية جيداً بنتائج القياسات البيانية والمساحية الرقمية. وبذلك ثبت أن البرمجيات المطوّرة تمثل طريقة دقيقة لقياس مساحة وطول محيط الورقة والأشياء الأخرى، مثل الخراطط، موسّعة بذلك

تطبيقات الحواسيب الشخصية لتشتمل على إجراء تلك القياسات. وهي طريقة أقل تكلفة أيضاً لأنها لا تتطلب عتاديات أخرى.

وطور جيانغ (Jiang et al., 2008) منظومة مراقبة حشرات عن بُعد، قائمة على تكنولوجيا الاتصالات اللاسلكية. تعطي هذه المنظومة آلياً تقارير عن الظروف البيئية ومحاسن الحشرات في الزمن الحقيقي. وهي تتألف من مكونين: منصة مراقبة عن بُعد، ومنصة تحكّم مضيئة. يُضاف إلى ذلك أنه اعتماداً على الخصائص الحيوية لذبابة الفواكه الشرقية، جرى تصميم جهاز أَسْر وِعْدٌ مؤتمت عالي الدقة. وتستطيع هذه المنظومة عدّ الذبابات المحبوسة وإرسال المعلومات إلى منصة المراقبة عن بُعد، المسؤولة أيضاً عن تحصيل البيانات البيئية. وترسل منصة المراقبة البيانات إلى منصة التحكّم المضيئة على شكل رسائل هاتف خلوي قصيرة عبر منظومة الاتصالات اللاسلكية النقالة العامة GSM. ثم ترسل المنظومة البيانات عبر محطة ثابتة تجارية. إن المزية الرئيسية للمنظومة القائمة على الـ GSM هي أنها يمكن أن تعمل جيداً اعتماداً على التغطية الفعالة للمحطة الثابتة مهما كانت المسافة بين منصة المراقبة عن بُعد ومنصة التحكّم المضيئة. أما مهمة منصة المراقبة المضيئة فهي استقبال وعرض وتحليل البيانات وتخزينها في قاعدة البيانات آلياً عبر الإنترنت. وهي توافر أيضاً وظائف، مثل الاستعلامات والإنذار المبكر والإعلان. وقد بُرِجت واجهة المستعمل البيانية في منصة التحكّم المضيئة وجرت مكاملتها مع منصة التطوير (Laboratory Virtual Instrument Engineering Workbench) (Lab-VIEW). واختُبرت المنظومة القائمة على الـ GSM حقلياً بين شهر آذار/ مارس عام 2006 وشهر تموز/ يوليو عام 2007، حيث وفّرت بيانات موثوقة. وبمساعدة هذه المنظومة، يستطيع الباحثون الحكم على ترابط ظهور ذبابة الفاكهة الشرقية مع الظروف المناخية. وتمكّن المنظومة أيضاً من الحدّ من الحشرات في الوقت المناسب، مقلّصة الخسائر الزراعية. وتبيّن النتائج التجريبية أنه يمكن تحقيق مراقبة واسعة النطاق، وبعيدة المدى، وطويلة الأجل للمعلومات الزراعية باستعمال منظومة المراقبة المقترحة.

واقترح لوبز (Lopes et al., 2008) استراتيجية جديدة للتحكّم في منظومة تهوية الحبوب. وفُذت هذه المنظومة على شكل رزمة برمجيات تسمى أيرو (AERO)، تشتمل على أربعة ظروف لتحصيل البيانات في الزمن الحقيقي، وعلى محاكاة لعملية التحكّم. ووفقاً لما أورده المؤلفون، تتجلى مزية المتحكّم أيرو الرئيسية في أنه يمكن أن يُستعمل في

مناطق جغرافية مختلفة، وخلال مواسم مختلفة، ومع منظومات تهوية مختلفة، وأنه يضبط نقطة إعداده آلياً. أما الغرض منه فهو ضبط درجة الحرارة وجعلها متساوية في جميع أنحاء الصومعة، وتبريد كتلة الحبوب ما أمكن، والحفاظ على مستوى الرطوبة ضمن شروط آمنة. وقد كُتبت برمجيات أيرو بواسطة برمجيات دلفي (Delphi)، وهي قادرة أيضاً على تحصيل البيانات، وتشغيل وإيقاف منظومة التهوية، ومحاكاة عملية التهوية بناء على معلومات المستعمل، وخزن نتائج المراقبة والمحاكاة، إضافة إلى التنبؤ بموسطات التهوية المهمة التي مثل الرطوبة في حالة التوازن والرطوبة النسبية للتهوية. وبيّنت النتائج التي حُصّلت تجريبياً أن الاستراتيجية المقترحة قادرة على تحقيق تلك الأغراض. يُضاف إلى ذلك أنه أمكن تحقيق اقتصاد جيد في الطاقة بواسطة المتحكّم أيرو.

واستعملت منظومات آلية أيضاً لإدارة التغييرات المكانية والزمنية بغرض استدامة الأرباح. فهذا النهج يقلص التكلفة، ويزيد المدود أيضاً. وقد أُجري كثير من البحث لتطوير تقنيات عملية لكشف الأعشاب الطفيلية والتحكّم في رشّ المبيدات. فقد جُمعت منظومات رؤية آلية واستشعار عن بُعد، وتكنولوجيا أخرى معاً، من أجل مراقبة عمليات رشّ المواد الكيميائية على المحاصيل والتحكّم فيها. وثمة مجال واعد آخر هو التقدير الآلي للموسطات الوصفية للمنتجات الزراعية، وذلك لتمكين الخبراء من التحكّم الدقيق في جودة تلك المنتجات وتغيير الموسطات التقنية من أجل تحسين الجودة نفسها.

وأكد كريشنان (Krishnan et al., 2006) الحاجة إلى تطوير ناشر سهاد مؤتمت لتحقيق نشر متجانس ودقيق للمغذيات الزراعية. لذا اقترح المؤلفون [مجسّات] لتقدير وزن الروث المتبقي في الخزان وحساب كمية المادة التي نُشرت. وطوّروا أيضاً خوارزمية لمنظومة على الإنترنت للتعريف، ونموذجاً ارتدادياً (Regression Model) رقمياً لوصف تغيّرات دخل وخرج الناشر. وجرى التحقق من التصميم النظري من خلال تجارب مكثفة بيّنت أنه يمكن تحديث نموذج الدخل والخرج الرقمي في الزمن الحقيقي، والتعامل مع مجال واسع من الاختلافات في مواد السهاد الحيواني، وتبدلات الآلة اللاخطية المعقدة. وتستطيع أيضاً خوارزمية التحكّم الأمثلي المتكيفة الذاتية الضبط التكيف مع القيود العتادية المتنوعة.

ووصف وانغ (Wang et al., 2007) شبكة متحكّمات مناطقية لكشف الأعشاب الطفيلية، ومنظومة تحكّم في رشّ المبيدات تتكامل فيها عدّة متحكّمات

صغرية ضمن شبكة واحدة، مع مجسّي طفيليات ضوئيين، ومتحكّم في الرش، وجهاز تحديد موقع GPS، وذلك من أجل كشف الأعشاب الطفيلية في الزمن الحقيقي ورشها موضعياً، ووضع خريطة لانتشارها. وتتضمّن رزمة المنظومة برمجيات لتحصيل البيانات والمعالجة المسبقة، وبرمجيات تصنيف تحليلي تمييزي، وبرمجيات لشبكة اتصالات مناطقية للمتحكّمات، وأخرى للتحكّم المركزي. وكُتبت جميع البرمجيات بلغة برمجة C، وصُرّفت ونُقّحت باستعمال رزمة أدوات تطوير البرمجيات C166/ST10، وشُعّلت تلك البرمجيات أثناء الاختبارات في المتحكّم الصغري C167CR. واختُبرت المنظومة في حقول قمح ضمن ظروف مختلفة، وحققت عموماً دقات تصنيف تزيد على 70%. وحينما دُرّبت على نوع واحد من الأعشاب الطفيلية، اكتشف المجسّ ثلاثة أجناس طفيلية بنسب نجاح بين 60% و78%. وحينما دُرّبت على جميع الأجناس الثلاثة، ارتفعت نسب النجاح إلى 78%-91%. وبالتصميم الحالي، تبلغ تكلفة عتاد المنظومة الكلية، مع مجسّي الأعشاب الطفيلية، نحو 2000 دولار أميركي. وكانت نية المؤلفين تقديم هذه التكنولوجيا إلى الصناعة والمنتجين بوصفها أداة فعالة في إدارة المحاصيل الزراعية.

وعرض لوغافي وماكفاندي (Loghavi and Mackvandi, 2008) تطويراً لنموذج أولي لرشاش مبيدات غير متواصل لاستعماله في الحدّ من الأعشاب الطفيلية المحددة، وذلك بمكاملة منظومة تحديد موقع تفاضلية (Differential Global Positioning System) (DGPS)، ومنظومة معلومات جغرافية GIS، وفوهات نفّثة تتحكّم فيها صمامات تستجيب لإشارات يولدها مجسّ حركة. واستُعملت مجموعة من مستقبليّ DGPS (ثابت ومتحرّك) طراز Ashtek Promark2 لجمع بيانات عن مواضع الأعشاب الطفيلية في بقع اختبارية. وجرى تصميم وصنع متحكّم صغري لاستعماله في تحديد مواقع رقع الطفيليات على خريطة إلكترونية، وفي نفس الوقت استقبال إشارات من مجسّ حركة يعمل بالأشعة تحت الحمراء مثبّت على دولاب الرشاش الأمامي، وذلك لتوليد وإرسال إشارات تفعيل لصمامات فوهات الرشاش النفّثة. وأُجريت تجربة على مجموعة عشوائية تماماً من البقع باستعمال ثلاثة أنواع من المعالجة بمبيدات الأعشاب تتألّف من رشّ موضعي للبقع المستهدفة، ورشّ عادي (متجانس)، ورشّ من دون تحكّم، وذلك في ثلاثة مواضع بغية تقييم أدائها الحقلّي. وكان الرشّ الموضعي المستهدف فاعلاً كالرشّ المتجانس في الحدّ من انتشار الأعشاب الطفيلية. لكن طريقتي الرشّ كانتا مختلفتين، بمستوى ثقة

يساوي 99٪، في معدل استهلاك مبيد الأعشاب الذي بلغ 40 ليترًا للهكتار في الرش المتجانس و12.2 ليترًا للهكتار في الرش الموضعي المستهدف.

وحدّد يورغنسن (Jorgensen et al., 2008) متطلبات ونطاق عمل لغة مخطوطية (Scripting Language) متخصصة لاستعمالها في التحكم في آلات موجهة مؤتمتة لتعشيب أراضي المحاصيل الزراعية الصفيّة (التي تُزرع في أرتال أو صفوف). وآلة التعشيب الموجهة المؤتمتة هي منظومة حاسوبية معلّبة توضع في مكان معيّن وتقوم بأفعال ذاتية مستقلة. وكان هدف المؤلفين من ذلك هو عبور الحقل برمته وتعشيبه من دون تدخل إضافي من الإنسان أثناء العمل الحقلّي. ولتحقيق ذلك استعملوا لغة تحكّم متخصصة بالروبوتات الصغيرة المتحركة في الزمن الحقيقي. وعدّلت لغة التحكم بالروبوتات بحيث تشمل على بعض أوامر الحركة الضرورية ووظائف إشراف تكميلية لمراقبة وتسجيل التغطية التدريجية للحقل. ثم اختبرت من خلال استعمالها في سيناريو يمثّل الظروف الحقلية الشائعة في المحاصيل الصفيّة. ووفقاً لما أورده المؤلفون، فقد بيّنت كتابة وصف بلغة التحكم في الروبوتات الصغيرة لاستعماله في الحقل على نحو واضح جدوى اعتماد منظومات التحكم القائمة على السلوك المتكيف في المنظومات الحقلية.

ووصف مراكمي (Murakami et al., 2008) منظومة تشغيل عن بُعد لآلة روبوتية من النوع الزاحف، ذات مجموعة نقل حركة هيدروليكية. وكانت المنظومة قد طوّرت لأغراض التشغيل عن بُعد في حقول زراعية غير معروفة. وهي تتألف من متحكّم وكاميرا تصوير CCD وGPS ومشغلات ومجموعة من تجهيزات وبرمجيات الاتصال اللاسلكي بالإنترنت، وذلك لاستعمالها من قبل المشغل. ويتصف المتحكّم ببنيان طبقي، وهو يوفرّ درجتين من التعاون بين المشغل والروبوت، أي تحكّم مباشر وتحكّم إشرافي. وتستطيع الآلية المزوّدة بالمنظومة الانتقال تلقائياً في الزمن الحقيقي باستعمال GPS وغيروسكوب ألياف ضوئية (Fiber-Optic Gyroscope) أثناء التحكم الإشرافي. وتوافر آلية التواصل بين الآلية والمشغل ملاححة حقلية اعتماداً على خرائط غوغل. ويمكن تحديث موقع الآلية واتجاهها مرة كل ثانية باستعمال خرائط أقمار صناعية دقيقة. وبيّنت نتائج الاختبارات الحقلية باستعمال التحكم المباشر أن من الصعب على المشغل التحكم في حركة الآلية على طول الخطوط موضوع الاهتمام. ومن ناحية أخرى، تستطيع الآلية الانتقال على خط مستقيم بخطأ على شكل انزياح جانبي أعظمي يساوي 0.3 متراً باستعمال التحكم الإشرافي.

وقدّم فيورفيري (Furferi et al., 2007) برمجيات قائمة على تشكيلة من الشبكات العصبونية الصناعية وطريقة رقمية لتقدير مستوى الحموضة وعدد البيروكسيد في زيت الزيتون المستخرج بعملية الاستخراج المستمرة. ويتحقق ذلك من خلال قياس بعض المستطات الزراعية والتقنية التي يقيسها عادة التقنيون الذين يعملون في معصرة الزيتون. وتمكّن طريقة الشبكات العصبونية الصناعية من إجراء تنبؤ خشن لكلا الموسطين. ثم يُنقح هذا التنبؤ بواسطة الطريقة الرقمية. والبرمجيات المطوّرة لهذا الغرض باستعمال قاعدة بيانات تجريبية، جُمعت خلال الأعوام 1997-2004 في منطقة توسكانا بإيطاليا، تستطيع تقدير الموسطين في أثناء استخراج الزيت، موافرةً تحكماً في جودته في الزمن الحقيقي. وقورنت نتائج التقدير التي أعطتها المنظومة القائمة على الشبكات العصبونية الصناعية بنتائج التحليل الكيميائي، وكان الخطأ الوسطي بينهما ضمن المجال 6%-8% في حالة الاستخراج بالمصفي الثلاثي الأطوار، ونحو 6%-7% في حالة المصفي الثنائي الأطوار. والمنظومة المطوّرة موضوعة قيد التشغيل الفعلي في معصرة توسكانا إينولوجيا موري بفلورنسا في إيطاليا.

وبنى كواساكي (Kawasaki et al., 2008) منظومة استشعار طيفية بالأشعة تحت الحمراء القريبة على أساس تجريبي. ومكّنت هذه المنظومة من الحصول على طيف الأشعة تحت الحمراء القريبة للحليب الخام في منظومة حلب آلية (روبوت حلب) في مجال أطوال الموجات 600-1050 نانو متر. وجرى تطوير نماذج معايرة لتحديد مكوّنات الحليب الرئيسية (شحوم، وبروتينات، ولاكتوز)، وعدد الخلايا الجسدية وبتروجين بولة الحليب في الحليب الخام. وجرى أيضاً التحقق من ميز ودقة النماذج. وأشارت النتائج إلى أنه يمكن استعمال منظومة الاستشعار الطيفي للأشعة تحت الحمراء القريبة لتقدير جودة الحليب في الزمن الحقيقي في منظومة الحلب الآلية. ويمكن للمنظومة أن توافر للمزارعين الذين يعملون بمشتقات الحليب معلومات عن جودة الحليب والظروف النفسية للأبقار، ومن ثمّ تمكينهم من التحكم في استثمار إدارة الحيوانات الحلوبة. وباستعمال هذه المنظومة، يتمكّن أولئك المزارعون من إنتاج حليب عالي الجودة.

وأتاحت التطوّرات في الأتمتة الزراعية أيضاً المزيد من المعلومات ذات الصلة بمراقبة الحيوانات وبيئاتها. فتقنيات المراقبة المتكاملة، التي تجمع معلومات من مصادر متعددة وتفسرها، تمكّن من الاستعمال الأعظمي للمعلومات، وتحسّن من إنتاج ونمو وصحة الحيوانات.

وطور فونس ومنكسغارد (Fonss and Munksgaard, 2008) جهازاً للجمع المؤتمت لعينات متعددة من الدم، يسمى آيس سامبلر (Ice Sampler). يوضع الجهاز على ظهر الحيوان، ويسمح بإبقاء الحيوان في جميع أنواع البيئات، وحيداً أو ضمن مجموعات اجتماعية. وليس ثمة حاجة إلى تقييد الحيوان أو التعامل معه أثناء أخذ عينة الدم. وتوحي نتائج الاختبارات أن أخذ عينات الدم المؤتمت يمثل بديلاً متفوقاً لأخذ عينات الدم يدوياً، حتى في الحظيرة. وتتحكم في المنظومة دارة إلكترونية مصممة لهذا الغرض وموضوعة ضمن علبة واقية. وتُبرمج تلك الوحدة بوصلها مع حاسوب (مع نظام تشغيل ويندوز XP) عبر منفذ USB وباستعمال برمجيات تأتي مع أخذ العينات آيس سامبلر. وتوافر البرمجيات تحكماً تاماً في توقيت أخذ العينات من حيث الوقت والمدة الفاصلة بين عمليتي أخذ العينات. وتُمكن برمجة المضخة من حيث السرعة ومدة الضخ لكل عملية أخذ عينات (ملء، سحب العينة، غسيل).

وقدم موتران (Mottran et al., 2008) مجسّ جرعة يمكنه الاستمرار بالقياس المتواصل الدقيق لمؤشر الحموضة لـ pH في كرش الحيوان (± 0.2 وحدة pH) مدة تزيد على 42 يوماً. وكان الدافع إلى الدراسة أن الحيوانات المجترة تحوّل العلف المحتوي على السللوز بالتخمير الجرثومي إلى مغذيات، وأن تقنيات الحفاظ على مؤشر الحموضة pH في الكرش بين 7 و5.5 ضرورية لصحة البقرة الحلوب. وحين استجواب المجسّ بإشارة لاسلكية، يُرسل البيانات المسجلة إلى شخص يقف إلى جانب البقرة مع مستقبل راديوي. وبعد معايرة المجسّ وإدخال ثوابت المعايرة إلى معالج الكرش الصغري برمجياً، يوضع المجسّ في كرش الحيوان من طريق الفم. وتوضع لصيقة تعريف في أذن الحيوان، أو تُدقّق إذا كانت موضوعة سابقاً. وفيما بعد، وحين الحاجة إلى البيانات، يقترب المشغل من الحيوان الذي في قيد الاختبار، ويقرأ هويته وتُدخل هوية المجسّ إلى البرمجيات. وقد وُضعت المجسّات في حيوانات مثقوبة (لأغراض الاختبار) بحيث يمكن إجراء مقارنة مع أجهزة المخبر. وبيّنت النتائج وجود ترابط قوي بين الجهاز المخبري المعايير ومجسّ الكرش في أوقات إدخال الجهاز فيه.

وقدم مورا (Moura et al., 2008) برمجيات مطوّرة لمراقبة وتحليل أصوات مميّزة تُصدرها خنازير صغيرة تربط بين ضجيجها وتوترها النفسي من أجل تقدير حالتها النفسية. وطوّرت البرمجيات بواسطة برمجيات دلفي. وجرى تسجيل

الصوت بواسطة البُرَيْمَج (UwaveIn) باستعمال مكرفون إلكتروني، وأُدخل إلى حاسوب شخصي على شكل إشارة لاتساع كثافة الضجيج، مقدرة بالديسيبل (dB). واستعمل تحويل فورييه لحساب طيف الصوت وتحويله إلى ترددات وشداتها. وأُجري التحقق من البرمجيات باستعمال خنازير صغيرة من مزرعة حضانة خنازير. ودُرست خمسة أمثلة من أصوات تخصّ مستويات مختلفة من التوتر النفسي (خوف واستنفار) ناجمة عن إجراءات منتظمة. ومكّنت المراقبة في الزمن الحقيقي من كشف تعرّض الخنازير الصغيرة للتوتر النفسي، ومكّنت تجزئة إشارة الصوت المسجلة في البرمجيات من تقييم تغيّر التوتر عبر الزمن.

من الواضح أن كثيراً من الباحثين قد استعرضوا بنجاح عمليات زراعية تامة الأتمتة باستعمال مجسات من تلك الأنواع مع خوارزميات خاصة بها. ويكمن التحديّ الآن في إنشاء منظومات تجارية وتكييف الحلول الفعلية مع المناطق والثقافات المختلفة.

أدوات دعم القرار

وَتَق كثير من الدراسات الحاجة إلى منظومات دعم قرار متكاملة للتطبيقات الزراعية المختلفة، إضافة إلى مزاياها. وعلى وجه العموم، تتضمن تلك المنظومات نماذج إدارة بيانات فاعلة وتوافر واجهات تخاطب ودودة للمستخدم. وبمزاوجتها مع منظومات تقوم على تكنولوجيايات الإنترنت والمراقبة في الزمن الحقيقي، تُمكن من الوصول إلى بيانات مهمة دقيقة وكاملة ومحدّثة، مؤدية إلى اتخاذ القرار الصحيح بسرعة.

وقد صمّم لكزر (Lexer et al., 2005) أداة دعم القرار DSD خصيصاً لمساعدة الخبراء الذين يحتاجون إلى تحليل الإدارة الحرجية للصنوبر الاسكتلندي (Pinus Sylvestris L.) وأجمات الراتنجيات النرويجية (Picea Abies (L. Karst.) في جنوب النمسا وانتقاء بدائلها. تدعم المنظومة DSD عملية تخطيط وتشتمل على أطوار اتخاذ القرار، مثل التعرف على الحالات الراهنة الخاصة بظروف الموقع والأجمة، وتحديد توقّعات الملاك وأفضليّاتهم الخاصة بأهداف معينة، وانتقاء وتقييم بدائل إدارتها. والمفهوم المركزي فيها هو أن المعلومات التي تخصّ توصيف البدائل مصاغة سلفاً ومخزونة في قاعدة بيانات. وقد جرت محاكاة برامج مختلفة

لمعالجة الأجمت، والحالات أجمت معينة، وذلك بواسطة نموذج نمو شجرة منفردة يعتمد على المسافة. يمكن للمستعمل أن يربط المواقع والأجناس وبرامج معالجة الأجمت والتكاليف وأسعار الخشب معاً، وأن يقيّم بدائل القرارات تلك من ناحية أفضلياته بواسطة نموذج استعمال إضافي يقوم على عملية هرمية تحليلية. وتتضمن وسائل إظهار نتائج الأداة البرمجية مخططات وجداول على الشاشة إضافة إلى تقارير مطبوعة. وكُتبت البرمجيات بلغة برمجة C++ على شكل بنية مخدم/ زبون مع برمجيات أوراكل (Oracle) بوصفها منظومة إدارة قاعدة بيانات تفاعلية. أما محدوديات المنظومة فهي صيغة التقارير الراهنة والافتقار إلى خدمة الوثائق وطلب المساعدة المباشرة من خلال الإنترنت. ونظراً إلى الطبيعة النسائية لمفهوم إطار عمل الـ DSD، فإنه يمكن تكييفها بسهولة من أجل مناطق جغرافية أخرى.

وقدم فولر وساركار (Fuller and Sarkar, 2006) رزمة LQGraph التي تُستعمل لاستمثال طرائق الربط بين المواقع المخصصة لحماية التنوع الحيوي (شبكة من المحميات). وتلك الطرائق ملائمة للمناطق المحمية الموجودة (الحدائق الوطنية، مثلاً) أو لشبكات مقترحة. وقد نُمدج المشهد العام باستعمال مخططات بيانية. ويعطي المستعمل علامة جودة لكل موقع في المشهد خارج المناطق المحمية. وبناء على هذه العلامات، تجد البرمجيات LQgraph مناطق متاخمة ذات جودة قصوى لربط مناطق الحماية. ويمكن ترشيح المناطق المتاخمة لإعطاء أولوية لتلك التي تربط مناطق المحميات بالعدد الأصغري من المواقع في المنطقة. ومقارنة مع الطرائق الموجودة لإقامة التواصل ضمن شبكة مناطق الحماية، يمكن لـ LQgraph أن تحلّل شبكات أكبر كثيراً. ويمكن لها أيضاً تحديد المواقع التي تعزل مناطق المحميات على نحو جيد، وهذا شيء مفيد لإيقاف انتشار العوامل المرضية والأجناس العدوانية. وتوافر هذه البرمجيات برمجيات لإنشاء ملفات الدخل اللازمة والمشاهدة عدد من خواص المشهد، منها جودة الموقع وأقصر الطرق بين المناطق المحمية. وكُتبت LQgraph باستعمال لغة برمجة .NET. Microsoft Visual C++. ويمكن تحميل أداة دعم القرار تلك من موقع الإنترنت: <http://uts.cc.utexas.edu/~consbio/Cons/ResNet.html>.

واستعملت أدوات دعم القرار أيضاً لتجاوز صعوبات تحديد الأجناس والأصناف، ولتحسين ممارسات الإدارة. وعلى وجه العموم، تمكّن هذه الأدوات من تحديث قواعد البيانات بسهولة بحيث تصبح نتائج الاختبارات العمومية متوافرة

بسرعة للمستعمل. وهي تمكّن المستعملين أيضاً من تحليل بياناتهم، وتحسّن تنظيم نتائج التحليل، وتسهّل تطوير وتنفيذ الإجراءات الإدارية.

وقدّم زانغ (Zhang et al., 2008) أداة جديدة لتحديد الأجناس الحية تمكّن المستعملين من تحديد هوية عينات من مجموعة معينة من جنس ما. وقد ثبت أن هذه الأداة، المسماة (SIK) (Secondary Identification Key)، أكثر كفاءة وأسهل تكيفاً من المفاتيح المعتادة في التشخيص المتخصص. ونظراً إلى أنه من الصعب على المختصين في التصنيف تصميم مفتاح تعريف ثانوي يدوياً، علاوة على أن ذلك مستنزف للوقت، فقد جرى تطوير أداة قائمة على الويب تسمى سي كي (SIkey) لكل من الخبراء وغير الخبراء، من أجل اقتناء أو تعديل مفتاح تعريف ثانوي بسرعة وسهولة. ويعمل سي كي في استعمالات ثانوية لمفاتيح التعريف الموجودة مع تعليل منطقي، وهي تتضمن بناء قاعدة معارف تصنيف محوسبة، وتعقب شجري لعبور العقد وتوليد مفاتيح فرعية. وأحدث نتائج هذا البحث هي البرمجيات InsecID التي طوّرت لحوسبة المفاتيح الثنائية التفرع، في حين أن سي كي توافر توليداً تلقائياً آلياً في الزمن الحقيقي لمفاتيح تعريف ثانوية لمجموعة معرّفة من الأجناس المصنّفة.

وبناءً على المفهوم القائل بأن أحد القرارات ذات المفعول الرئيسي في الربح الزراعي هو انتقاء النمط الوراثي الذي سوف يُزرع، طوّر غيمباستياني (Giambastiani, 2008) الرزمة البرمجية SelGen، وهي برمجيات تمكّن من تقييم الأصناف الوراثية ومقارنتها باستمرار. وطوّرت البرمجيات باستعمال لغة جافا (Java)، وتُجري المعالجة تبعاً للخيارات التي ينتقيها المستعمل، وللمعلومات المحتواة في قاعدة بيانات لمدود الصنف في البيئات المختلفة. وتُعطي النتائج في جداول ومخططات. وتُحدّث قاعدة المعطيات المضمّنة في البرمجيات مرتين في السنة. ويمكن للمستعملين أيضاً تحليل قواعد بياناتهم الخاصة بهم. وثمة نسخة منها منشورة ضمن صيغة قالب جافا في موقع الإنترنت <http://agro.uncor.edu/~ceryol/utilitarios/SelGen/SelGenApp.html>.

ووصف كالوديس (Kaloudis et al., 2005) منظومة خبيرة لتحديد حشرات الغابات واقترح العلاج المناسب للقضاء عليها. ونُفّذت هذه المنظومة باستعمال أداة EXSYS التي تمثّل المعرفة فيها بدلالة القواعد الشرطية IF-THEN-ELSE. وتستطيع هذه المنظومة تحديد هوية أكثر من أربعين حشرة مختلفة، إما من مرحلة ما

من دورة حياتها، أو من الضرر الذي تكون قد أحدثته في الأشجار، أو من حقيقة أنها تعيش في الغابة. وعند اكتمال تحديد نوع الحشرة، يمكن للمنظومة أن تقترح معالجة ملائمة، هادفة إلى تقليص انتشارها في الغابة، وإلى جعل تأذي الغابة منها أصغرياً. وحُسِّنت المنظومة بصور ورسوم تساعد المستعمل على تحديد الحشرة بدقة وسرعة. ويمكن استعمالها من قبل أشخاص غير مختصين أو غير خبراء، مثل مُلأك الغابات. ويمكن استعمالها أيضاً في التربية أو لأغراض التدريب بوصفها منظومة تعليم بسيطة. وإحدى مزاياها الرئيسية هي أنها تُكامل ضمن وحدة واحدة معارف من مجالات متنوّعة.

وفي مجال خزن المحاصيل، طوّر فلنّ (Flinn et al., 2007) البرنامج الاستشاري للحبوب المخزونة ((Stored Grain Advisor Pro (SGA Pro))، وهو منظومة دعم قرار توافر معلومات عن إدارة الحشرات الضارة بالقمح المخزون في صوامع تجارية. وكان البرنامج قد طُوّر أصلاً باستعمال برمجيات Microsoft Access، ثم عدّل وأعيدت كتابته بلغة برمجة Visual Basic 6.0. ويُستعمل فيه نموذج للتنبؤ بالمخاطر المستقبلية اعتماداً على كثافة الحشرات الراهنة، ودرجة حرارة الحبوب ورطوبتها. واستُعملت منظومة قائمة على القواعد لتوفير نصائح وتوصيات للمشرفين على الحبوب. واختُبرت تلك البرمجيات ضمن برنامج بحث أُجري في صوامع الحبوب التجارية في كنساس وأوكلاهوما بالولايات المتحدة الأمريكية. وقد تنبأ البرنامج على نحو صحيح بأن الحبوب في 71%-80% من الصوامع آمنة من مخاطر العدوى الكثيفة والأذى. ووفقاً لما أورده مؤلّفو المقالة، مال المشرفون على الحبوب الذين اتبعوا توصيات البرنامج إلى التطهير بالتدخين (Fumigation) للصوامع ذات الكثافة العالية من الحشرات بدلاً من تطهير جميع صوامع الموقع. ونتجت من ذلك إدارة أعلى كفاءة لمكافحة الحشرات الضارة، لأن الصوامع لا تطهر بالتدخين إلا بعد تجاوز كثافة الحشرات العتبة الاقتصادية. يُضاف إلى ذلك أن التطهير بتبخير الصوامع التي تحتاج إلى معالجة فقط جعل مخاطر الخسائر الاقتصادية من الحشرات أصغرية، وقلص تكاليف مكافحة الحشرات، وقلل استعمال بخور الحبوب المطهر.

والبرمجيات SERRISTE هي منظومة اتخاذ قرار طوّرها تشاميتشيان (Tchamitchian et al., 2006)، وهي تولّد يومياً القيم المناخية المرغوب فيها للبدورة (الطاطم) التي تُزرع في بيوت زجاجية (بلاستيكية). تستند المنظومة إلى الصياغة الرياضية لممارسات الخبراء والمعرفة العلمية، بوصفها مسألة تحقيق قيود

(Constraint Satisfaction Problem). قُدِّمت في المقالة بنية الرزمة SERRISTE، والمعرفة التي استُعملت لوصف العلاقة بين سلوك المحصول ومناخ البيت الزجاجي، والعلاقة بين القيم المرغوب فيها والمناخ الناتج في البيت الزجاجي. واختُبر أداء المنظومة في ثلاثة مواقع مختلفة في فرنسا باستعمال إدارة مرجعية عمياء وإدارة SERRISTE في بيتين زجاجيين متماثلين في كل موقع. وكانت النتائج الرئيسية أن SERRISTE تحافظ على فوارق حرارية بين الليل والنهار أكبر، ونقص أقل في ضغط البخار مما تفعله الإدارة المرجعية، وتؤدي إلى اقتصاد في استهلاك الطاقة بنحو 5%-20%. وأكد المؤلفون أن مردود محصول SERRISTE هو كذلك الناجم عن الإدارة المرجعية على الأقل. يُضاف إلى ذلك أن سلوك المحصول في الصيف يتحسن باستعمال SERRISTE لأن النبات أكثر خضرة ومقدرة على تحمُّل درجات الحرارة العالية. وحُلَّت مسألة تحقيق القيود في SERRISTE باستعمال أداة CON'FLEX، وهو برنامج حل عام بلغة برمجة C++ يستطيع التعامل مع مسائل القيود الغامضة مع متغيّرات النطاقات المحدودة ومتغيّرات الفواصل.

وجرى تطوير منظومة خبيرة قائمة على الويب من قبل وارتن (Wharton et al., 2008) لمساعدة مزارعي البندورة في ميشيغان في الولايات المتحدة على اتخاذ قرارات هامة بخصوص الاستعمال والتوقيت الأمثلين للمبيدات الفطرية لدرء مخاطر ظهور مرض آفة البطاطا المتأخرة. وطُوِّرت المنظومة حول قاعدة بيانات تفاعلية تخزن معلومات عن مخاطر آفة البطاطا المتأخرة تولّد بواسطة نموذج تنبئي بالآفة نُفِّذ بلغة برمجة Perl. وتُسْتعمل في النموذج بيانات عن الرطوبة النسبية ودرجة الحرارة تأتي من شبكة محطات طقس مؤتمتة في ميشيغان بغية تقدير ملاءمة الظروف البيئية لظهور الوباء. ثم تعطى توصيات للإدارة استناداً إلى مستوى الخطر. وتقدّم المعلومات المخزونة في قاعدة البيانات إلى المستعملين عبر سلسلة من صفحات الويب التي تولّد باستمرار بواسطة مجموعة من نصوص لغتي برمجيات Perl و PHP. وتختلف هذه المنظومة عن المنظومات الشائعة من ناحيتين رئيسيتين. أولاً، المنظومة تفاعلية وتقوم على الويب، متيحة للمزارعين الوصول إلى توصيات خاصة بالموقع تستند إلى الطقس عبر حواسيبهم الشخصية من دون شراء أو تركيب تجهيزات أو برمجيات إضافية. ثانياً، تُضمّن المنظومة معلومات عن مناطق جغرافية مجاورة ظهرت فيها آفة البطاطا المتأخرة، وبيانات من شبكة محطات طقس مناطقية، وذلك في تقديرات يومية للخطر وتوصيات للإدارة لـ 48 موقعاً في ميشيغان. وتشتمل التوصيات

على توقيت ومعدلات رش مبيدات الفطريات المعتادة. ويمكن الوصول إلى الموقع التفاعلي عبر الويب www.lateblight.org.

وطوّروا دو وبزوغلوف (De and Bezuglov, 2006) البرنامج AFOPro لإدارة المغذيات (Nutrient Management) الشاملة في الولايات المتحدة. وأكثر تحديداً، يمثل AFOPro استجابة للحاجة إلى تعقب النروجين N والفوسفور P والبوتاسيوم K في الأسمدة التجارية وفي روث الحيوانات الناتج من عمليات تغذية الحيوانات الحبيسة، والمستعملة بوصفها مصدراً غذائياً في الحقول الزراعية في الولايات المتحدة. يمكن استعمال هذه المنظومة من قبل المخططين لجعل قرارات التخصيص أمثلية كي يوفر الحقل الزراعي احتياجات النبات، مع جعل المفاعيل المحتملة للأسمدة في الأحواض المائية أصغرية. يتألف البرنامج AFOPro من وحدتين أساسيتين. الأولى هي نواة AFOPro، وهي وحدة قرار إدارة التغذية، وقد كُتبت بلغة البرمجة بيزيك المريئة. والثانية هي ويب AFOPro التي تُستعمل لتحديث قاعدة المعرفة، وهي مكتوبة بلغة البرمجة ASP.NET and html. والبرنامج AFOPro مرّن وشفاف وتفاعلي. وهو يغطي 21 ولاية من الولايات المتحدة الأمريكية. ووفقاً لما أورده المؤلفون، ازداد عدد مستعملي هذه المنظومة إلى أكثر من 350 مستعملاً في الولايات المتحدة منذ أول إصدار له في عام 2003. ويمكن تحميل أداة دعم القرار AFOPro تلك من www.esri.sc.edu/Projects/usda/application_development/afopro.asp.

ولخص هريرو (Herrero et al., 2007) الحاجة إلى قاعدة بيانات لمنظومة محاصيل ومواش عامة، وإلى مقاييس بيانات لتحليل المنظومات الشامل في البلدان النامية. وأشار المؤلفون إلى نوع البيانات التي يجب أن تحتويها قواعد البيانات تلك، وقدموا مراجعة للطريقة التي يمكن جمعها بها. ووصفوا برمجيات IMPACT، وهي قاعدة بيانات وأداة تحليل قاموا بتطويرها. وتلبّي هذه الأداة جزئياً المتطلبات التي يمكن طلبها من بيانات منظومات من هذا النوع. وثمة وصف مختصر لأدوات التحليل والروابط إلى النماذج واستعمالات قواعد البيانات تلك، مع عرض لدراسات حالة من كينيا وغانا وسريلانكا.

وعرض زانغ وغودارد (Zhang and Goddard, 2007) مثلاً لبنيان برمجيات طبقي وتنفيذ لإطار عمل قائم على المكوّن (Component-Based Framework)

(Implementation) باستعمال منظومة دعم القرار الزراعي الوطنية ومنظومة دعم القرار القائمة على الويب اللتين طُوِّرتا لوكالة إدارة المخاطر لدى وزارة الزراعة الأميركية بغية دعم اتخاذ القرار بشأن إدارة المخاطر الزراعية. والغرض النهائي لأداة تحليل القرار هذه هو تطوير علاقات تشرح المشهد والعمليات الثقافية المجتمعية التي تصف الزراعة وتحوّل تلك العلاقات إلى معرفة يمكن استعمالها لاتخاذ قرارات سليمة في إدارة المخاطر. ويساعد ببيان البرمجيات الطبقي على تصميم منظومة الدعم من خلال توفير نظرة صورية هرمية. وبمساعدة إطار العمل القائم على المكوّن، تقدّم المنظومة خدمات موزعة مثل الحوسبة وتقديم مجموعة من أدلة الجفاف التي يمكن أن تصف كمياً كثافة ومُدّد وأحجام الأحداث ضمن نوافذ مُيّر متعددة. وبوصفها أداة دعم قرار قائمة على الويب، فإنها تُستعمل من قِبل الباحثين والمحلّلين وموظّفي الحكومة الذين يعملون في إدارة مخاطر الجفاف، والتعليم في مجال الجفاف، وتقدير مفاعيل الجفاف، وقابلية التعرض للجفاف.

ونظراً إلى أن وسيلة الدخول الشائعة، لدى المزارعين المهتمين بإدارة المحاصيل الزراعية الخاصة بالموقع (Site-Specific Management)، هي تركيب شاشات إلكترونية على آلات القطاف لمراقبة مردودها، فقد عرض لارسون (Larson et al., 2005) مساعداً حاسوبياً على اتخاذ القرار، مستقلاً وتفاعلياً وودوداً للمستعمل، من أجل توفير معلومات تربوية عن تكاليف اقتناء منظومة مراقبة مردود القطن والعوائد اللازمة للتعويض عن تكاليف قرار الاستثمار فيها. وقد طُوِّرت هذه الأداة، المسماة مساعداً قرار استثمار منظومة مراقبة مردود القطن (Cotton Yield Monitor Investment Decision Aid) (CYMIDA) باستعمال برمجيات Microsoft Visual Basic. وهي سلسلة من الشاشات كل منها مصمّم ليقود المستعمل عبر تحليل منهجي لقرار الاستثمار في منظومة مراقبة مردود القطن. ومن محدوديات هذه الأداة أنها لا تقدّم معلومات عن احتمال تحقيق توازن المردود مع مدخرات الدخل اللازم للتعويض عن الاستثمار في منظومة مراقبة المردود. لذا فإن تطوير طرائق لتقييم احتمال تحقيق معدل إيجابي من عوائد الاستثمار في تكنولوجيا الإدارة الخاصة بالموقع يمثل نشاط بحث مستقبلي مثير محتمل. ومن إمكانات البحث المستقبلي المحتملة تطوير مساعدات اتخاذ قرار إضافية من أجل تقييم الاستثمار في تكنولوجيا الإدارة الأخرى الخاصة بالموقع. إن الرزمة CYMIDA متوفرة في موقع الشركة على الإنترنت Cotton Incorporated: www.cottoninc.com/Agriculture.

وطور بزّاني (Bazzani, 2005) منظومة دعم قرار للري (Decision Support System For Irrigation) (DSIRR) من أجل التقييم الاقتصادي البيئي لهذا النشاط الزراعي. كُتبت هذه البرمجيات بلغة بيزيك المرئية، وهي مصممة لتلبية الاحتياجات العامة والخاصة، من خلال محاكاة عمليات اتخاذ القرار من قبل المزارعين من منطلقات اقتصادية، إضافة إلى أنها تسمح بوصف دقيق للإنتاج والري من الناحيتين التقنية والزراعية. ويمكن بناء نماذج منفصلة للمزارع من أجل وصف منظومة الإنتاج المعنية في الحوض المائي. ويمكن إجراء تحليل قصير وطويل الأجل، مع خيارات الاستشارة الداخلي في حالة الطويل الأجل. ويُعثر على الحلول باستعمال تقنيات برمجة رياضية متعدّدة المعايير. وتعمل نماذج المزارع بواسطة واجهة تواصل بياني تمكّن المستعمل من تحديد مقدار استعمال الماء واليد العاملة والآلات على أساس نوع المزرعة، مع الأخذ في الحسبان لأنواع التربة المختلفة ومنظومات الري ومصارف الماء والموسمية. وتُراكم البيانات على مستوى الأحواض المائية. ووفقاً لقول المؤلف، فإن غنى المعلومات الناتجة من برمجيات DSIRR، ومرونة وسهولة استعمالها تجعل منها أداة مفيدة لزراعة أكثر استدامة ولتعريف سياسة مائية حكيمة.

وأدخل ريتشاردز (Richards et al., 2008) إطار العمل المفاهيمي لمنظومة البرمجيات HydroLOGIC ومواصفاتها، ووصف تطبيقاتها في إدارة الري في صناعة القطن الأسترالية. لقد طُوّرت هذه البرمجيات استجابة للحاجة إلى أدوات وموارد لتقدير استعمال الماء واستمثال إدارة الري. وقد جرى فيها التصدي لتحديات تطوير منظومة دعم قرار تدعم مجموعة من طرائق التعليم، وتلائم احتياجات المستعملين واستيعاباتهم المختلفة، وذلك من خلال استشارة المستعمل وتقييمه لها، ومن خلال تطبيقات حقلية مفصّلة. وكانت العملية التكرارية الالتقائية لتطوير البرمجيات ناجحة في توليد وثائق مواصفات مختصرة، ومكّنت بذلك مطوّري البرمجيات من المبادرة إلى تطوير إصدارات قبل نهائية عاملة بغية تقييمها. ووفّرت هذه العملية نموذجاً ممتازاً لتطوير تطبيقات مستقبلية تلبي الاحتياجات المباشرة للمنتجين والخبراء الزراعيين، في مجال القطن والمحاصيل الأخرى. وتوافر هذه البرمجيات معلومات جدول ري خاصة وهامة محلياً، وتسمح بتقدير العائد الأمثل لاستراتيجية ري لكل ميغا لتر من الماء. ويمكن تقدير هذا العائد بناء على معيار المردود، أو على استعمال الماء، أو على معيار اقتصادي أو بيئي. وباستعمال تقارير مختصرة، يمكن للمستعملين بسهولة تقدير مخاطر خيارات إدارة الري المختلفة في أي مرحلة من نمو المحصول، من تحضير

الأرض حتى تقييم المحصول فيما بعد الحصاد أو القطف. ويمكن استعمال برمجيات HydroLOGIC أيضاً ضمن عملية شاملة متكاملة لتخطيط إدارة ماء المزرعة لتوفير معلومات عن تأثير تخصيص المياه وما يلي ذلك من تقييم للأمن المائي، وتكلفة الماء ومخاطره.

وقدّم ألبرخ (Ulbrich et al., 2008) البرمجيات EcoEcoMod التي تتألف من جزء وصفي مكتوب بواسطة لغة برمجيات Adobe Flash ومن جزء محاكاة يقوم على إجراءات النمذجة البيئية الحيوية الاقتصادية، وهو مكتوب بـ «لغة برمجيات دلفي». وطوّرت هذه البرمجيات من أجل تصميم دفعات تعويض مجدية اقتصادياً وفعالة بيئياً لأغراض الحماية البيئية. وتمثّل إجراءات النمذجة أساس أداة دعم القرار تلك التي يمكن لمستخدمها تحديد طريقة الحصد المجدية اقتصادياً ودفعات التعويض الموافقة لها في الموازنة من خلال مقارنة تأثيرات طرائق الحصد المختلفة في أعداد الفراشات من أجل موازنة معينة. ويمكن تحميل هذه البرمجيات مجاناً من موقع الإنترنت <http://www.macman.ufz.de/tool>.

ليست المفاهيم المتعلقة بأدوات دعم القرار جديدة. بل إن السمات الجديدة لأدوات اتخاذ القرار المحوسبة هي الجديدة بالاهتمام. وفي الواقع، أصبحت أدوات دعم القرار أكثر شعبية بوصفها أطر عمل نمذجة يمكنها تحليل المسائل المعقدة، وفض النزاعات، ودعم اتخاذ القرار المستقبلي في الإدارة التكيّفية.

الأدوات القائمة على منظومة المعلومات الجغرافية

الميزة الرئيسية لمنظومة المعلومات الجغرافية GIS هي مقدرتها على الإظهار البياني لسمات مختلفة لمنطقة ما بطريقة قابلة للفهم بسهولة (Edelman, 2007). لذا استُعملت هذه المنظومة GIS على نطاق واسع للتعامل مع البيانات المكانية في كثير من المجالات. وفي الزراعة، جُمعت هذه المنظومات مع تكنولوجيات أخرى، من أجل خزن واستعادة وتحليل ورسم البيانات في المقام الأول لأغراض اتخاذ القرار.

بنى كرتوف (Chertov et al., 2005) نموذجاً أولاً لمنظومة تحليل بيانات واتخاذ قرار على مستوى مشروع غابة، وذلك بمكاملة نموذج البيئة الحيوية في الغابة EFIMOD-PRO (تنبؤ طويل الأجل لنمو الغابة وتطوّر التربة) مع منظومة الإظهار المرئي الجغرافية التفاعلية العامة CommonGIS. وكان الهدف تحليل

البيانات المعنية مكانياً وزمناً. وباستعمال النموذج الأولي، جرت في دراسة حالة في روسيا الأوروبية المركزية محاكاة لأربع طرائق للتطور الحراجي على مدى 200 سنة: التطور الطبيعي، وزراعة الغابات انتقائياً، وزراعة الغابات قانونياً بموجب تشريعات الحراج الروسية، وأعمال الغابات غير المشروعة. ويؤدي الإظهار المرئي التفاعلي والمتحرك للخرائط ومخططات البيانات الإحصائية دوراً مهماً في تنظيف البيانات والتحقق من النموذج وتحليل نتائج المحاكاة. وقد بينت دراسة الحالة إمكان مكاملة نماذج البيئة الحيوية في الغابات مع إظهار مرئي لبيانات توضيحية من أجل التحليل والتقييم القائمين على الخبرة في المستوى المحلي. ويمكن استعمال النموذج الأولي ذلك لتقديم العواقب البيئية الحيوية والحراجية للممارسات الإدارية المختلفة إلى المسؤولين والمجموعات الاجتماعية المختلفة، وبذلك تحاكي اتخاذ قرار جيد لمصلحة أحراج مستدامة.

وفي عمل مشابه، طور رذنر (Rudner et al., 2007) نموذج المشهد INGRID لمحاكاة التأثيرات البيئية الحيوية لطرائق إدارة أراضي الأعشاب الجافة وحساب تكاليفها بغية استعمالها أداة قرار لدى وكالات المحميات الطبيعية. ومن أجل التنوُّ بالمخاطر المحلية والإقليمية لانقراض النباتات والحيوانات بسبب سيناريوهات الإدارة واضطراباتها المختلفة، استعمل المؤلفون طرائق نمذجة في مستويات ومقاسات مختلفة من الهرمية. وجرت مكاملة متغيّرات حالة حيوية ولاحيوية مع عمليات وتفاعلات معقدة بطريقة مكانية مباشرة في قوقعة النمذجة INGRID. وحُدِّدت البيانات والموسطات الضرورية للنمذجة الموثوقة تجريبياً في موقع دراسة في جنوب ألمانيا. ووُضعت موسطات منظومات جزئية للنموذج الشامل تجريبياً، وجرى التحقق منها بواسطة مسوحات حقلية مكثفة. وقد نُفذ نموذج مشهد INGRID بواسطة برمجيات بورلاند دلفي (Borland Delphi)، وجرت مكاملة وحداته مع منظومة معلومات جغرافية بسيطة الشبكة. وتمكّن مواجهة التواصل مع ESRI ArcView من استيراد وتصدير خرائط رقمية.

وطور إليس (Ellis et al., 2005) منظومة دعم قرار زراعة الحراج الجنوبية الشرقية (Southeastern Agroforestry Decision Support System) (SEADSS) القائمة على الويب لمساعدة مُلاك الأراضي ومندوبي المقاطعات في جنوب شرق الولايات المتحدة على تقييم المواقع المحتملة وأجناس الأشجار

والشجيرات الملائمة لتخطيط زراعة الحراج. وتوافر هذه البرمجيات وصولاً عبر الإنترنت إلى معلومات مكانية على مستوى المقاطعة، مثل الطبوغرافيا والمياه واستعمال التربة والأرض الضرورية لتقييم مواقع زراعة الأجراس والأجناس المناسبة. وترتبط المنظومة مكوّنات من منظومة المعلومات الجغرافية مع قاعدة بيانات أشجار وشجيرات شبه مدارية تمكّن المستعمل من الاستعلام عن أشجار وشجيرات ملائمة حيويًا ومرغوب فيها اقتصادياً وإدارياً. ويتحقّق انتقاء الأجناس من خلال استعلامات بلغة الاستعلامات المهيكلة (Structured Query Language) (SQL) باستعمال صفحات مخدّم نشِط. وعندما يختار المستعمل النهائي مقاطعة وموقعاً يهمنه، تُمرّر مستويات المناخ والتربة إلى قاعدة البيانات، وتختار الاستعلامات الأشجار والشجيرات التي تحقّق المتوسطات الفيزيائية الحيوية. يُضاف إلى ذلك أن المستعمل يستطيع تضيق البحث عن أجناس ملائمة باختيار معايير معينة للإدارة والانتشار والمنتج والخدمات ضمن تطبيق قائم على الويب. وتُربط نتائج الأشجار والشجيرات معاً عبر الإنترنت لتتيح للزبون مشاهدة معلومات إضافية خاصة بالأجناس مع النفاذ إلى وثائق عنها وصور لها.

وطوّرت أدوات قائمة على الـ GIS أيضاً بغية تحسين صيانة إمكانات الإنتاج للموارد وتحرّي تدهورها. فالموارد المتضافرة من تضاريس وماء وتربة ومزروعات توافر أساساً لإدارة مستدامة، ويجب أن تحسّن الأداء الاقتصادي للعمليات الزراعية مع الحفاظ على جودة الموارد الطبيعية ووظائفها البيئية.

وقدّم ريس (Rees et al., 2006) برمجيات قائمة على منظومة GIS لمساعدة العاملين في مرافق المياه في منطقة الهيمالايا على تحقيق إدارة ناجحة لموارد المياه وفقاً للتوازنات بين التوفر الطبيعي للماء والضغط الناجمة عن استهلاك الماء. وتتضمن البرمجيات نماذج مائية ارتدادية تمكّن من تقدير التدفّق المائي الأساسي الشهري الوسطي الطويل الأجل من وإلى الأحواض المائية غير الخاضعة للقياس. ويستطيع المستعملون مقارنة التدفّقات المتنبأ بها بالتدفّقات المرصودة المسجلة في محطات للمراقبة والقياس. ومن الممكن محاكاة مفعول سيناريوهات استهلاك الماء الراهنة والمستقبلية في تدفّقات الموسم الجاف، وذلك من خلال توصيف الاستعمال الموسمي للماء عند نقاط من الحوض المائي. وقد صُمّمت البرمجيات للعمل في حاسوب شخصي باستعمال لغة برمجيات Microsoft Visual Basic، و ESRI MapObjects لرسم

الخرائط والتحليل الجغرافي، و ActiveX Data Objects للتحكم في قاعدة بيانات قائمة على برمجيات Microsoft Access. أما واجهة التواصل الودودة للمستعمل فهي قائمة على منظومة GIS وتوافر إمكانية إضافة بيانات مكانية من السياق لتحسين استعمال النموذج المفاهيمي. وتوافر شاشة ومصاعغات خرج معيارية مجموعة متناسقة من أدوات إعداد التقارير.

ووصف راو (Rao et al., 2007) تصميم وظائفية وتنفيذ منظومة تفاعلية واحدة غير مجزأة، تُكامل فيها أداة تصنيف صور مع نموذج إدارة مائية زراعية يعمل بوصفه أداة فعالة وناجحة لإدارة وتقييم برنامج المحميات الاحتياطي (Conservation Reserve Program) (CRP)، وهو واحد من أكبر برامج وزارة الزراعة الأميركية، ويهدف إلى تشجيع المزارعين ومرّبي المواشي على الاهتمام بقضايا التربة والماء والموارد الطبيعية على أراضيهم بطريقة مستدامة بيئياً. ومنظومة النمذجة المتكاملة المطوّرة ليست سوى نموذج أولي جرى تنفيذه في بيئة حواسيب موزّعة. إلا أن هذا النموذج الأولي يتيح دراسة بعض القضايا الجوهرية التي سوف تكون أساسية لتطوير منظومة دعم قرار لبرنامج حماية احتياطي حقيقي في المستقبل. تُكامل المنظومة المقترحة تكنولوجيا الويب مع منظومة المعلومات الجغرافية باستعمال مخدّم ويب مع تكنولوجيا Java Servlet على منصة ArcIMS لدعم النفاذ إلى البيانات ومعالجتها في بيئة موزّعة. وتعمل أداة تصنيف الصور AFIRS بوصفها بروتوكول توسيع سمات تستعمل مجموعات بيانات أرضية مكانية متعددة المصادر. ويعمل نموذج إدارة المحصول والماء SWAT على محاكاة التوجّهات الطويلة الأجل لجودة التربة والماء. وقد استُعمل النموذج الأولي بنجاح في محاكاة تغيّرات الرسوبيات والمغذيات في مجّع مائي صغير في أوكلاهوما الأميركية.

ويلقي عساف وسعادة (Assaf and Saadeh, 2008) نظرة إجمالية على تطوير وتنفيذ منظومة دعم قرار متكاملة صُمّمت لمساعدة المشرّعين وغيرهم من أصحاب المسألة على الفهم الجيد للعوامل والعمليات المفتاحية المتعلقة بتدهور جودة الماء السطحي الناجم عن مياه الصرف الصحي في حوض نهر الليطاني الأعلى، وصياغة وتقدير وتقييم خطط الإدارة المختلفة للتصدي لها. وقد طُوّرت منظومة دعم القرار تلك اعتماداً على نموذج WEAP الذي يوفر منظومة GIS وبيئة محاكاة مرئية، إضافة إلى إدارة سيناريو وإمكانات تحليلية. واستُعملت المنظومة لتقييم خطتين رئيسيتين

لإدارة جودة الماء مع الأخذ في الحسبان التغيرات المائية والمكانية والموسمية. وأجري تحليل للجدوى الاقتصادية لتحديد أفضل الخطط. وأكدت النتائج استفحال المشكلة وبيّنت أهمية اتخاذ إجراءات فورية لكبح هذا الهجوم المدمر على هذا المصدر الثمين للماء العذب الشحيح.

ووصف مترنيخ وغونزالز (Metternicht and Gonzalez, 2005) أسسَ برمجيات FUERO، وهو نموذج استقصائي احتمالي ضبابي يتنبأ بمخاطر التربة ويستقصي علاقات السبب والمفعول على أساس معرفة عامة عن أسباب عمليات تآكل التربة ومؤثراته والعلاقات في ما بينهما. وجرى تنفيذ FUERO ضمن بيئة منظومة GIS. وصُمم النموذج بغية استقصاء حساسية مناطق معينة للتآكل، وذلك بتضمينه معرفة خبراء تنطوي على أن المعلومات الخاصة بخواص التربة وعناصر المشهد التي يُفترض أنها تحدُّ من تسارع تآكل التربة يمكن أن تدخل في عملية النمذجة. وجرى إضفاء سمة الاحتمالية على عناصر المشهد المستعملة في نمذجة احتمال تأثر منطقة ما بدرجات مختلفة من التآكل باستعمال طريقة نمذجة الاستيراد الدلالي الترجيحي (Fuzzy Semantic Import Modelling). وقد أثبت المؤلفون أن النموذج كان مفيداً جداً في استقصاء العلاقات بين المؤشرات والأسباب والعمليات، برغم إمكان إعطائه تقديرات كمية. يُضاف إلى ذلك أنه مكن من اختبار أهمية عناصر المشهد المتعلقة بتآكل التربة منفردة، واختيار تلك التي تتنبأ على أفضل وجه بتآكل التربة في منطقة معينة.

ولاحظ راموس (Ramos et al., 2007) أن عملية التآكل تشتد بتأثيرات العوامل الجوية وأساليب الحراثة وانحدار الأرض. وبيّن المؤلفون أيضاً أن الخواص، مثل نوع المحصول أو أسلوب إدارة المزرعة يجب أن تُقيّم جميعاً من أجل الوصول إلى استنتاجات عن التآكل الناجم عن الحراثة. وحددوا كمياً حركة الأرض الكلية وما يتبعها من انزياح أشجار الزيتون الناجم عن التآكل المستمر الذي تسببه الحراثة. وحُللت تلك الحركات في بستان زيتون موجود في موقع على أرض متغيّرة الانحدار. وكان أكثر الأجهزة ملاءمة لإجراء قياسات في المنطقة المدروسة هو نظام GPS بسبب انعدام الرؤية عبر الأشجار. وأدمجت البيانات مع برمجيات قائمة على منظومة GIS بغية إجراء تحليل مكاني محدد لهذه الظاهرة. ووفّر التحليل قيماً دقيقة للانزياحات تؤكد أن أشجار الزيتون قد انزاحت بضعة سنتيمترات في السنة. ولوحظ أيضاً أن ثمة علاقة بين حركة أشجار الزيتون والسماوات المكانية الأخرى، مثل الارتفاع والميل والشكل.

ووصف مازيرا (Maser et al., 2006) أداة قائمة على منظومة GIS تسمى وزدوم (WISDOM) تستطيع تحليل الأنماط المكانية لطلب وإمداد وقود الحطب من منظور جديد. وتتضمن هذه البرمجيات تجميع المعلومات الموجودة، لكن المتفرقة، ضمن مجموعات بيانات مستقلة، مع مكاملة نسائية لمجموعات البيانات تلك اعتماداً على تحليل متغيرات أساسية مقترنة بأنماط طلب وإمداد وقود الحطب. وتتضمن هذه الأداة أيضاً تمثيلاً مكانياً حصرياً متعدد الأوجه للتأثير من أجل تصنيف أو تسليط الضوء على المناطق التي تتصادف فيها عدة من معايير الاهتمام. أما الغرض النهائي للبرمجيات فهو تقييم استدامة وقود الحطب بوصفه مصدر طاقة متجدد واسع الانتشار، مع دعم للتخطيط الاستراتيجي ورسم السياسات. واستعرضت ثلاث دراسات حالة في المكسيك وسلوفينيا والسينغال تنفيذاً عملياً لتلك البرمجيات مع نتائجها الباهرة.

وثمة مجال آخر جرى استمثاله بمنظومة GIS هو التخطيط الريفي. فقد خضعت البيئة الريفية إلى كثير من التغيرات في العقود الأخيرة، منها هجران سكانها لها، وتقلص مساحاتها المزروعة، واختفاء المشاهد الطبيعية منها، وظهور أنشطة وأوجه جديدة للأراضي. وتحتاج هذه التغيرات إلى أدوات وخبرات لدعم اتخاذ القرار حين ربط الأنشطة بالمناطق، والعكس صحيح.

وقد صف سانتي - ريفيرا (Santé-Riveira et al., 2008) منظومة دعم تخطيط لاستعمالها في تخصيص استعمال الأراضي الريفية. وسُميت المنظومة (Rural RULES Land-use Exploration System) وهي قائمة على مكونات برمجية منها LINDO التي صُممت في منظومة GIS لربط نماذج تحليل خارجية مع المنظومة. تدعم هذه التقنيات التحليلية الثلاث ثلاث مراحل أساسية من نموذج تخطيط استعمال الأراضي الريفية: تقييم ملاءمة الأرض، واستمثال مساحة استعمال الأرض، والتخصيص المكاني لاستعمالات الأرض. ويُجرى تقييم الأرض باستعمال طرائق متعددة المعايير وإطار العمل الذي وضعته منظمة الفاو (FAO). وقد استُعملت المنظومة في منطقة في شمال غرب إسبانيا حيث جرى استعراض كفاءتها. ووفقاً لقول المؤلفين، تُسهّم هذه الأداة في توجيه ودعم النقاشات في أثناء عملية التخطيط.

واستعمل أغوستينو (Agostinho et al., 2008) تحليل الطاقة المضمّنة (Energy) إضافة إلى منظومة GIS بغية تحسين تقييم المزارع التي تُديرها الأسر وتعتمد نماذج الإنتاج البيئية الحيوية أو الكيميائية. ودرست ثلاث مزارع في البرازيل. وفي محاولة

لتحسين دقة البيانات المستعملة في تحليل الطاقة المضمّنة، صُمّنت معادلة ضياع التربة العامة (USLE) (Universal Soil Loss Equation) في أداة GIS من أجل حساب ضياع التربة العليا من الأراضي الزراعية. ومكّنت أداة منظومة GIS أيضاً من حساب مقدار ماء المطر الذي يرشح عبر الأرض ويمكن أن يُعيد ملء حوض الماء الجوفي. يمثل هذا الماء الراشح خرج منظومة، وقد صُمّنت في حسابات موازنة الطاقة المضمّنة. وثمة تعديل آخر، يُقارن بتحليلات الطاقة المضمّنة الأخرى، هو أن عامل قابلية التجديد لكل دخل قد أُخذ في الحسبان في موازنة الطاقة المضمّنة. وبيّنت النتائج أن المزارع البيئية الحيوية أكثر استدامة، ويمكن استعمالها نموذجاً للمزارع الصغيرة في أثناء تحوّلها إلى الزراعة البيئية الحيوية (Ecological Agriculture).

ووفقاً لما هو مبين آنفاً، أفقر كثير من الباحثين أهمية الـ GIS في نمذجة العمليات المكانية واتخاذ القرار. وتوافر نتائج النماذج المتكاملة مع الـ GIS معلومات أساسية لصنّاع القرار والمخططين من أجل اتّخاذ الإجراءات المناسبة. إن منظومة GIS والاستشعار عن بُعد يجب أن يُشكّلا أدوات هامة في منظومات دعم القرار التشغيلي وفي إجراءات التقييم والوقاية.

أدوات المحاكاة في الزراعة

يمكن لأدوات المحاكاة أن تقلّص المخاطر ومدد التعلّم المقترنة بتكييف المنظومات واعتمادها. فهي يمكن أن توفّر رؤية معمقة للخبراء وتحسّن تفسير التوصيات المتعلقة بالموقع. وثمة أدوات محاكاة عديدة متوافرة لوصف المنظومات الزراعية، وقد جُمع بعضها مع تكنولوجيات أخرى بغية التحكم الآلي في المنظومات والمساعدة على اتّخاذ القرار وتنقيح العمليات.

طوّر لو بير (Le Ber et al., 2006) منظومة اكتشاف معرفة (Knowledge Discovery System) تقوم على نماذج ماركوف خفية عالية المرتبة لتحليل قواعد البيانات المكانية الزمنية. وهذه المنظومة، المسماة كاروت إيج (CarrotAge)، تأخذ داخلها مصفوفة من البيانات المقطّعة وتُنشئ فاصلاً مع احتمال البعدي (a Posteriori Probability). وطوّرت المنظومة من أجل دراسة أنماط زراعة الأرض، ولذا تستعمل قاعدة بيانات مائية زراعية تسمى تر - يوتي (Ter-Uti) وتسجّل كل سنة فئة استعمال الأرض في مجموعة من المواقع التي تفصل بينها مسافات منتظمة.

ويجب تفسير نتائج كاروت إيج من قبل مختصين زراعيين، واستعمالها في أعمال البحث التي تربط استعمال الأرض الزراعية مع إدارة المياه. يُضاف إلى ذلك أن المنظومة يمكن أن تُستعمل لتحديد تسلسل زراعة المحاصيل ودراسته في الأراضي الواسعة، وهذا يمثل مسألة رئيسية في بحوث الزراعة والبيئة. وهي برمجيات مجانية تخضع لأحكام الرخصة العمومية (Gnu Public License). وقد كُتبت بلغة برمجة ++C، وهي تعمل مع نظام التشغيل Unix ومنظومات X11R6.

واستعمل هليا (Hélias et al., 2008) مؤتمتة موقوتة (Timed Automata) وتدقيق النموذج (Model-Checking) لمحاكاة حركة المادة في منظومات الإنتاج الزراعي. وأقيمت المنهجية الموصوفة على نمذجة القيود الزمنية ذات الصلة بكل وحدة إنتاج أو استهلاك من خلال صياغة متقطعة ومستمرة الزمن تسمى المؤتمتة الموقوتة. واستُعملت في ذلك برمجيات Kronos القائمة على منطق شجرة الحساب الموقوتة (Timed Computational Tree Logic) (TCTL). واستُعرضت الطريقة من خلال تحليل منظومة مزرعة تشتمل على مشاريع لتربية المواشي وزراعة المحاصيل في نطاق جزيرة ري يونيون (Reunion Island) [الفرنسية الواقعة في المحيط الهندي شرق مدغشقر]. وباستعمال هذه الأداة الحاسوبية، أمكن تبيان كيف يمكن تحسين السياسة الأولية لإدارة الفضلات بالمحاكاة من أجل تخصيصها للمحاصيل على نحو أفضل.

وقدّم شاتولان (Chatelin et al., 2005) البرمجيات DéciBlé، وهي أداة محاكاة موجهة إلى دعم تصميم وتقييم الإدارة التقنية لمحصول القمح. نظر المؤلفون في إدارة المحصول من وجهة نظر تخطيط استراتيجية، على أنها واحدة من خيارات قواعد القرار التقنية لكامل موسم الزراعة، بدلاً من القرارات اليومية لكل عملية. تحاكي هذه البرمجيات عواقب مجموعة من قواعد القرار في العمليات التقنية وإنتاج المحاصيل في مجال واسع من السياقات الممكنة (المناطق، وتغيّرات الطقس السنوية، والحقول... إلخ). وهذه محاكاة يتفاعل فيها نموذجان في ما بينهما. نموذج قرار يمثل قواعد القرار عبر صياغة محددة، ويولّد العمليات لكل سياق. ونموذج محصول، وهو مجموعة من الوحدات التي تحاكي تطور النبات وبيئته وتراكم الإنتاج المتضمن في تلك العمليات في هذا السياق من خلال توليد توابع الضياع أو تقديرات المخاطر. ويتألف نموذج المحصول من مجموعة من النماذج التجريبية القائمة على التشخيص الزراعي، ومراجع تجريبية واسعة الاستعمال في فرنسا. وأجري تحقّق عام

من المنظومة باستعمال بيانات أُخذت من شبكة من التجارب الحقلية، وأدّى ذلك إلى ظهور اختلافات عن القيم الحقيقية تقل عن 15% في أكثر من 75% من الحالات. وقدّم لوبز وآخرون (Lopes et al., 2006) نموذج محاكاة لتهوية الحبوب المخزونة وقارنوا نتائجها ببيانات تجريبية. ويمكن للبرمجيات المكتوبة بلغة برمجة دلفي أن تحاكي عملية التهوية في الحبوب المخزونة، مع وجود بقع حارة، باستعمال بيانات محيطية متغيّرة مع الزمن. وبمقارنة نتائج النموذج ببيانات جُمعت فيما بين شهري كانون الثاني/يناير وآب/أغسطس عام 2005 في البرازيل، لوحظ أن نتائج المحاكاة تطابقت جيداً مع الظروف الفعلية، مشيرة إلى أن المحاكاة يمكن أن تتنبأ على نحو موثوق بعملية التهوية في مناطق مختلفة من العالم. وفي عمل آخر، طوّر لوبز (Lopes et al., 2005) برمجيات تسمى آري (AIRE) لتصميم تهوية الحبوب في مستودعات مسطّحة وصوامع ذات قعر مسطّح وأخرى ذات قعر مخروطي. وكُتبت هذه البرمجيات بلغة برمجة ++C، وهي تقوم بمحاكاة جميع الإجراءات والقواعد المستعملة في تصميم منظومة التهوية، وبذلك تكون أداة مفيدة للمختصين العاملين في مجال خزن الحبوب. لكنّ على المستعمل أن يُقدّم بعض البيانات، مثل المنتج المخزون وأبعاد مكان الخزن وتدفق الهواء المستعمل. وتتضمن نتائج برمجيات آري تقارير نصية وبيانية مع مقاسات مجاري الهواء المراوح. وثمة إصدار مجاني من هذه البرمجيات يمكن تحميلها من موقع الإنترنت www.evandro.eng.br.

ويهدف استمثال تخطيط التخزين أيضاً، نفَّذ بكمستر وهلتون (Buckmaster and Hilton, 2005) مبادئ تحليل الدورة في ورّيقة جدولة بحيث يمكن تقييم آلة الحصاد ومتغيّرات أداء المنظومة بسرعة. تتصف مخططات الدورة (Cycle Diagrams) بأنها أدوات بسيطة نسبياً يمكن أن توفّر رؤية للتأثير المتبادل بين التجهيزات والاختلافات التشغيلية في منظومات الزراعة المتغيّرة. إلا أن توليدها يدوياً مملّ، وهي مستنزفة للوقت حين استعمالها لمقارنة بدائل المنظومة المختلفة. لذا يُستعمل القالب المطوّر لتقييم الحصّادات، من دون خزان محمول عليها، ومع خزان يمكن تفريغه في أثناء الحصاد. لكن هناك حاجة إلى إدخال سعة الآلة وبيانات التشغيل وموسماته لكل آلة ولكل عملية. وتتضمن محرّجات القالب مدة الدورة وسعة المنظومة ومدة توقّف كل آلة. إضافة إلى حساب مردود كل من الحصّادة وآلية النقل وآلية التحميل والتنزيل واليد العاملة.

ونفَّذ تناكا وآخرون (Tanaka et al., 2008) محاكاة مونتي كارلو بموسمات

أولية عشوائية بغية تحري السلوك الفردي لحبات الرز أثناء التجفيف الهوائي. وقد حلل المؤلفون تأثير نسبة الرطوبة عند البداية وقطر حبيبة مسحوق الرز في حالة المنتج النهائي في عملية التجفيف الهوائي. وجرى توليد عينات من محتوى الرطوبة في البداية وتوزع مقاسات أقطار الحبيبات بواسطة خوارزمية تحليل التغاير (Covariance Decomposition). وقد نُفذت عملية المحاكاة 5000 مرة استناداً إلى توازنات العزم والطاقة والكتلة بين هواء التجفيف وجسيمات الرز، وذلك من أجل الحصول على شكل تغيّرات الاستجابة من حيث درجة حرارة مسحوق الرز ومحتواه من الرطوبة وأقطار الجسيمات في المجفّف الهوائي. وأمكن لنموذج تجفيف النقل الهوائي أن يصف سلوك جسيمات الرز المعقد في دفعة التجفيف. وكُتبت البرمجيات بلغة بيزيك المرئية لتنفيذ نموذج حتمي للتنبؤ بدرجة حرارة الهواء ورطوبته وسرعته ورطوبة مسحوق الرز ودرجة حرارته وسرعة حركة الجسيمات ضمن مجفّف هوائي عمودي.

وغدت نماذج المحاكاة أيضاً أدوات متزايدة الأهمية لتسهيل الاستدامة وتقييم السياسة الزراعية، بافتراض أن إجراءات من هذا النوع تتطلب تنبؤاً بتغيّرات متوسطة إلى بعيدة المدى.

وبنى تكسيي وآخرون (Tixier et al., 2008) نموذجاً خاصاً أسماه سيمبا (SIMBA) من أجل تقييم المخاطر البيئية الناجمة عن عدد كبير من التقنيات الزراعية، وللمساعدة على تصميم منظومات زراعة أكثر استدامة. يُجري هذا النموذج محاكاة لمنظومات إنتاج الموز في مستوى الحقل خلال عدة دورات زراعية. وهو يتضمّن نماذج جزئية تحاكي بنية التربة والتوازن المائي فيها، وأعداد الديدان في التربة، والمردود والمخرجات الاقتصادية، مع توازن معقول بين تمثيل الظواهر الرئيسية جيداً والإبقاء على النموذج بسيطاً، وذلك بغية تقليص تكلفة المتوسطات ضمن مجال واسع من الظروف. وتمكّن المؤشّرات الزراعية البيئية التي يولدها النموذج من تقدير المفاعيل البيئية الممكنة الرئيسية. وقد طُوّر النموذج باستعمال ستيللا (STELLA)، وهي أداة لبناء منظومات نمذجة متغيّرة من خلال تكوين مخطط بياني للمنظومة ثم تخصيصها بالقيم والتوابع الرياضية المناسبة (Isee Systems, 2007). وجرت معايرة SIMBA في جزيرتي البحر الكاريبي غوادلوب ومارتينيك (Guadeloupe and Martinique)، واستُعملت لاستخلاص توصيات عملية للمزارعين وللعاملين في التجارب الحاسوبية للابتكارات الزراعية التكنولوجية أو استراتيجيات الإدارة الحقلية.

وكان الغرض الرئيسي من البحث الذي أجراه أغاروال (Aggarwal et al., 2006) تطوير نموذج بسيط نسبياً يمكنه تلبية متطلبات أصحاب المصلحة المتنوعين، من حيث تقدير المردود والخسائر الناجمة عن الحشرات الضارة، وتغيّرات كربون ونتروجين التربة، وإصدارات غازات الدفيئة المختلفة. وسُمّي النموذج إنفوكروب (InfoCrop)، وهو يهتم بالعمليات المفتاحية ذات الصلة بنمو المحصول، وتأثيرات نقص الماء، والطوفان، وإدارة النتروجين، وإجهادات درجة الحرارة والجليد، والتأثيرات المتبادلة بين الحشرات الضارة والمحصول، وتوازنات ماء التربة والنتروجين، وتغيّرات كربون (التربة) العضوي. وتقوم بنيته العامة المتعلقة بنمو المحصول الأساسي ومردوده إلى حدّ بعيد على عدة نماذج سابقة، خاصة سلسلة برمجيات SUCROS. وكُتبت البرمجيات إنفوكروب ضمن بيئة المحاكاة بفورتران (Fortran Simulation Environment) (FSE)، وجرى التحقق منها من أجل: المادة الجافة ومردود الحبوب في عدة محاصيل سنوية، والضياعات الناجمة عن أمراض وحيوانات ضارة متعددة، وإصدارات ثاني أكسيد الكربون والميثان والأكسيد النتروجيني في بيئات زراعية متنوّعة.

وثمة برمجيات أخرى، هي GROWEST PLUS، صُمّمت لتنفيذ إصدار جديد من نموذج محاكاة دليل نمو النبات GROWEST الذي طُوّر لمكاملة محدّدات المناخ الرئيسية لنمو نبات معيّن على نطاق جغرافي واسع. وقد وُصف GROWEST PLUS من قبل لافلين (Laughlin et al., 2007)، حيث جرت مقارنات الظروف الراهنة بالتغيّرات التاريخية. أما مزيته الكبرى فهي بساطته. يُركّب النموذج استجابات حيوية راسخة لتوجّهات المناخ الفصلية في بضعة أبعاد، وهذا يقلصّ مدة الحساب والمعالجة تقليصاً كبيراً. وقد كُتبت هذه البرمجيات باستعمال لغة برمجة جافا النصية التي وفّرت واجهة مستعمل بيانية مرنة ودودة للمستعمل وعالية الكفاءة.

واستعمل سومر وآخرون (Sommer et al., 2007) نموذج محاكاة التربة والمحصول CropSyst لتقييم أداء الحراثة المحافظة (Conservation Tillage) مقارنة بالحراثة العادية خلال 13 سنة من زراعة الذرة الصفراء المستمرة في أراضي المكسيك العالية. واختبر المؤلفون إمكان تحقيق متطلبات معايرة CropSyst والتحقق

منه باستعمال مجموعات بيانات جُمعت على نحو متكرّر من قبل مختصّين بالزراعة. وقد شوهد مردودٌ عالٍ للذرة الصفراء في حالة الحراثة الصفرية (عدم الحراثة) مع الإبقاء على الجذور. وأشارت نتائج المحاكاة إلى أن ذلك يعود إلى ظروف الرطوبة المفضّلة التي تحمّد الإجهاد الناجم عن نقص الماء في سنوات الجفاف. وتنبأ CropSyst أيضاً بإجهاد نقص النتروجين في سنوات أخرى بوصفه عاملاً يحدّ من المردود، برغم ما يبدو إمداداً أمثلماً بالنتروجين في السهات المعدني. واستطاع CropSyst التنبؤ بمردود الحراثة العادية مع الإبقاء على الجذور، ومردود الحراثة الصفرية مع إزالة الجذور بقدر جيد، التي دلّ عليها معامل ناش ستكليفّ (Nash-Sutcliffe) المعدّل للكفاءة الذي بلغ 0.32 للحالة الأولى و0.48 للثانية. ومع ذلك، بيّنت نتائج المحاكاة اختلافات منهجية بين المعالجة فيما يخص الماء وتغيّرات النتروجين. لكن CropSyst يفترق إلى برامج تأخذ في الحسبان تصلّب سطح التربة، ومفعول الحراثة المؤقت في حالة التربة المائية، وتأثير الرواسب السطحية التي تعيق جريان الماء السطحي. وقد حدّت عيوب النموذج تلك، مع انعدام القياسات الحقلية المستمرة والتفصيلية، من التحليل والمناقشة التفصيليين للكميات التي أنتجها النموذج.

وطوّر سموتا (Simota et al., 2005) النموذج SIDASS القائم على بعض مجموعات البيانات الدقيقة من مناطق أوروبية معيّنة. وهذا النموذج قادر على التنبؤ بمفاعيل عمليات التربة الميكانيكية التي مثل تشوّه التربة نتيجة لتآكلها، ويمكن استعماله لمزاوجة مفاعيل الخواص المائية والميكانيكية في عمليات التآكل أيضاً. وفي مرحلته النهائية، يعطي توصيات عن استعمالات الأرض خاصة بالموقع، إضافة إلى استراتيجيات إدارتها.

ونظراً إلى أن المشرفين على إدارة المياه والمسؤولين عن رسم السياسات والمزارعين يحتاجون إلى أدوات لتقدير تأثير إدارة المياه في المردود الزراعية، وتقدير مزاياها الاقتصادية ومفاعيلها البيئية، من أجل التمكن من اتخاذ قرارات استراتيجية عملية، طوّر فوز وآخرون (Vos et al., 2006) ونفّذوا نموذج إدارة متكامل لمحاكاة قرارات تخصّ المراعي والمروج، وحساب اقتصاديات المزرعة. وقد جرت محاكاة لحالة التربة الفيزيائية ومردود المحاصيل وإدارة المزرعة، على مدى عدة سنوات، اعتماداً على بيانات الطقس اليومية. وسُمّي النموذج ووترباس (Waterpas)، وزوج بين نماذج جزئية لتدفّق الماء في مناطق التربة المشبعة وغير المشبعة، والتأثير المتبادل بين الماء السطحي

(SWAP) وإنتاج العشب (CNGRAS, GRAMIN)، وإدارة الأرض العشبية (GGW) باستعمال إطار عمل غرضي التوجُّه.

ووصف سليستيواواتي (Sulistyawati et al., 2005) استعمال نموذج محاكاة لدراسة المفاعيل المحتملة لانخراط أكبر في الزراعة الربحية للأرض المحروقة [غابات مُحرق للزراعة]. استُعمل في النموذج كل من طريقتي النمذجة القائمة على الفرد، والنمذجة القائمة على القواعد، وكُوِّمِلت فيه عوامل سكانية وثقافية واجتماعية واقتصادية وبيئية حيوية تؤثر في قرارات استعمال الأراضي الزراعية المحروقة. وقد أُقيمت صياغته على تقرير سابق لمنظومة البنية الاجتماعية والثقافية والإنتاج الزراعي في إندونيسيا. وجرت محاكاة تغيُّرات المنظومة باستعمال مجموعة قواعد ممثلة بوصفها سلسلة من الأوامر الشرطية If-Then-Else. ومثَّلت هذه القواعد مجموعة من الافتراضات عن المنظومات الاجتماعية والبيئية الحيوية، ويمكن النظر إليها أيضاً على أنها تبسيط لحالة واقعية شديدة التعقيد. ونُقِّد نموذج المحاكاة بواسطة حاسوب شخصي باستعمال رزمة برمجيات دلفي. وأحد الاكتشافات المهمة للنموذج هو أن الحفاظ على زراعة الأرض المحروقة دائماً بوصفه خياراً من خيارات المنظومة الزراعية، بدلاً من الاستعاضة عن زراعة الأرض المحروقة بالزراعة الربحية، يبدو استراتيجية أكثر أماناً من أجل تخفيف وطأة تفاوت أسعار السلع.

وأجرى هِلْتِن (Hilten et al., 2008) دراسة عن فعالية الأسقف الخضراء في تخفيف وطأة ماء مطر العواصف، وذلك باستعمال المحاكاة الحاسوبية. وقد جرت محاكاة سلوك ماء العاصفة في هذه الدراسة من أجل أسقف خضراء أنساقية للمباني باستعمال رزمة محاكاة رطوبة التربة (HYDRUS-1D)، وجرى التحقق من نتائج المحاكاة بواسطة بيانات موقع الدراسة. وأُجريت المحاكاة باستعمال البرمجيات المذكورة من أجل عاصفة مصممة مدتها 24 ساعة من أجل تحديد التدفق الأعظمي ومدة احتجاز وتأخير الماء الجاري. واستُعملت بيانات العاصفة، التي جُمِعت في أثينا وجورجيا والولايات المتحدة لتكون جزءاً من دراسة للأسقف الخضراء بغية التحقق من محاكاة سيل الماء الجاري بواسطة HYDRUS-1D. وتألَّف موقع الدراسة من أسقف خضراء أنساقية مساحة كل منها 37 متراً مربعاً فوق عدد من المباني، وتحتوي الأسقف على تربة ومزروعات مهندسة، منها عدة أجناس من نبتة السيدوم (Sedum). وكشفت الدراسة أن وتيرة كمية المطر الهاطل في العاصفة تُؤثِّر تأثيراً كبيراً في أداء الأسقف الخضراء من حيث تخفيف وطأة العاصفة، فهي تحقِّق احتجازاً

تاماً ماء مطر العواصف الضعيفة (أقل من 25.4 مليمتراً)، وتأخيراً لكميات الماء التي هي أكبر، بافتراض نسبة الرطوبة المقيسة الوسطى (10%) شرطاً سابقاً.

وقدّم دورادو نيتو (Dourado Neto et al., 2007) برمجيات لحساب ناقليّة التربة غير المشبعة (Hydraulic Conductivity). تُستعمل في البرمجيات طرائق عامة موجودة في المنشورات، وتقوم على تجارب حقلية يرشح فيها الماء عبر تربة ويخرج عبر مصرف داخلي. وهذه البرمجيات موجودة في الإنترنت dourado@esalq.usp.br.

إن الاهتمام باستعمال نماذج المحاكاة لأغراض التنبؤ في تزايد، وذلك استجابة للحاجة إلى معالجة بعض العوائق في العمليات الزراعية. ويمكن لأدوات المحاكاة أن تعالج عدم التوافق بين احتياجات المزارعين والتوقعات التشغيلية المتوافرة. ونتائج هذه المحاكاة على صلة وثيقة بقرارات أرزاق المزارعين، وإلى حد ما، بتطبيقات الإنذار المبكر وتطبيقات السوق. يمكنها أن تساعد أيضاً على تجاوز صعوبات الحصول على الدعم القانوني والمالي والسياسي بهدف تحقيق الفائدة القصوى.

وضمّ فالكاو (Falcão et al., 2006) أدوات دعم القرار إلى تقنيات الرسم الحاسوبي لإنتاج محاكاة للمشاهد الطبيعية المشجرة المتوقعة. ويتألف بنية أدوات الرسم الثلاثي الأبعاد للمشاهد المشجرة من خمس نساءق رئيسية: منظومة إدارة قاعدة البيانات، وكتاب الوصف، وقاعدة نموذج القرار، وأداة رسم ومعالجة أولية للبيانات الحرجية والجغرافية. وقد أُدمجت نسيقتا معالجة مسبقة وإنتاج صور مرئية بنجاح ضمن منظومة دعم قرار للإدارة المكانية لموارد الغابات. وأسهمت الروابط مع منظومة إدارة قاعدة البيانات المكانية في كفاءة استخلاص الشكل الهندسي لغطاء التضاريس. وقامت الروابط مع كاتب الوصف وقاعدة النموذج بأتمتة استخراج بيانات سيناريو تخطيط إدارة المشهد الطبيعي بنجاح. ويقرأ التطبيق نتائج المحاكاة من أجل إنتاج صور مرئية لسيناريوهات الإدارة المتوقعة. ويمكن استعمال وحدتيّ المعالجة المسبقة وإنتاج الصور المرئية بوصفهما منظومتين مستقلتين لتقييم المشهد الطبيعي القائم. وقد نوقشت نتائج تطبيق المنظومة على مشهد اختباري مشجر على البحر المتوسط يمتد على نحو 95000 هكتار، وبيّنت أنه يمكن استعمال هذه الأداة بنجاح مع نوافذ رؤية مخروطية عندما يكون بُعد نقطة الرؤية أقل من 2.0 كيلو متراً.

وقدّم ليدو (Ledoux et al., 2007) رزمة برمجيات للتنبؤ بمصير أسمدة النتروجين وانتقال النترات من أمكنة الجذور في المناطق الزراعية إلى الماء السطحي

والمياه الجوفية في حوض نهر السين. وأخذت المحاكاة في الحسبان مدة المكوث الطويلة للماء والنترات في منظومة الحوض المائي والمنظومة غير المشبعة. وأُدمجت نماذج مختلفة، مثل STICS وNEWSAM وMODCOU بغية التنبؤ بتطور مردود المحصول والتلوث بالنيتروجين تبعاً لسيناريوهات مختلفة لتعديل الممارسات الزراعية والتغيرات المناخية. واستُعملت بيانات عن الفترة من عام 1970 حتى عام 2000 لمحاكاة التطور السابق للتلوث بالنيتروجين. وجرى التحقق من الطريقة أيضاً باستعمال قواعد البيانات المتوافرة لتراكيز النيتروجين في المجمعات المائية الرئيسية الثلاثة في حوض باريس (Oligocene, Eocene and chalk). واستُعملت تلك الطريقة للتنبؤ بالتطور المستقبلي للتلوث بالنيتروجين حتى عام 2015. واستُعمل النموذج لتقدير تكاليف الأضرار الناجمة عن معالجة ماء الشرب على مستوى وحدة إدارة المياه الجوفية في حوض نهر السين.

وقيم بودان وآخرون (Beaudoin et al., 2008) نموذج برمجيات STICS أيضاً من ناحية مقدرته على التنبؤ برشح النترات في منظومات الزراعة الواقعية على مدى مدة طويلة. وفحص المؤلفون تنبؤات النموذج بالمتغيرات البيئية الزراعية المعنية، وفي مقدمتها ماء التربة ومحتواها من النترات، وامتصاص المحصول للنيتروجين وإنتاجية المحصول. وجرت إعادة معايرة STICS، أولاً باستعمال ثلاث قواعد بيانات مستقلة، ثم قيم إزاء قاعدة بيانات مجمع مياه الأمطار في برويار (Bruyeres)، وهي ممثلة لمنظومات الزراعة في شمال فرنسا. وأظهرت النتائج تطابقاً معقولاً بين المتغيرات الرئيسية المحاكاة والمتغيرات المشاهدة. إلا أن المؤلفين يرون أن النموذج يحتاج إلى تحسين بتضمينه محدوديات المردود الناجمة عن الظروف القائمة في المزرعة، من حيث صيغة النموذج ومحتوى قاعدة البيانات. يُضاف إلى ذلك أنه يجب السعي لإقامة توازن نيتروجين كامل في المستقبل من أجل درء انتقال التلوث واستمثال كامل المفعول البيئي للمنظومات الزراعية. لكن التنبؤات بضياعات النيتروجين الغازية خاصة تلك التي تُسهم في التغير المناخي، كانت أقل وثوقية من تلك الخاصة برشح النيتروجين ويجب تحسينها من ناحية الممارسات الزراعية على وجه الخصوص.

وقدم كازانسي (Kazanci, 2007) البرمجيات EcoNet لمحاكاة وتحليل المنظومات البيئية الحيوية. وتدمج هذه الأداة إمكانات محاكاة متغيرة مع تحليل شبكة الحالة الثابتة. وهي تمثل واجهة تواصل بسيطة ومرنة وتوافر منحني تعلم لطيف

للمُنْمُذَجِ المبتدئ. وتحتوي هذه البرمجيات على برامج حلّ معادلات رقمية معقدة يحتاج إلى اختيارات قليلة يقوم بها المستعمل، وبذلك يقرب عملية التفكير ونتائج المحاكاة من بعضها. وقد صُمّمت البرمجيات لتسهيل بناء النموذج ومحاكاته وتحليله، وتكمن قوته في بساطته. وهي تعمل على مُخدّم في موقع الإنترنت <http://eco.engr.uga.edu>، ولا تحتاج إلى أي عملية إرساء. ووفقاً لِقَوْلِ المؤلّف، فإن سمات، مثل توليد المخططات آلياً والمقدرة على نمذجة منظومات كبيرة ذات آلاف من الانسيابات والمخزونات وخيارات المحاكاة العشوائية، تجعل من هذه البرمجيات رافداً لعالم النمذجة البيئية الحيوية مرحباً به.

وقدّم بَرْتِل وآخرون (Barthel et al., 2008) نتائج محاكاة سيناريو لاستعراض الإمكانيات والمحدوديات التي يتصف بها إطار العمل DANUBIA، الذي يضم 16 نموذج محاكاة متخصصاً مقترنة معاً، بغية تبادل البيانات بشكل متحرك أثناء التشغيل. وتُستعمل هذه المنظومة لتقييم بدائل إدارة استدامة موارد الماء المستقبلية، وعواقب سيناريوهات المناخ القائمة على توصيات الهيئة الحكومية الدولية الخاصة بالتغيُّر المناخي (Intergovernmental Panel on Climate Change) (IPCC) خلال الفترة من عام 2000 حتى عام 2100. ويعتمد إطار العمل ونماذج المحاكاة والنتائج التي ناقشها المؤلفون، في ما يعتمد، على برمجيات طوّرها عدة شركاء في مشروع GLOWA الخاص بحوض الدانوب، وهي موجودة في موقع الإنترنت www.glowa-danube.de.

ووصف دوناتيلي (Donatelli et al., 2006) البرنامج GSRad الذي يحتوي على نماذج لتقدير الإشعاع الشمسي على مستوى الأرض وخارجها (العام والنشط في التركيب الضوئي؛ المكونات المباشرة والموزعة والمنعكسة) باستعمال طرائق مختلفة. وتُقدَّر بيانات الإشعاع إما على أساس ساعة واحدة أو على أساس 24 ساعة. وأكثر من ذلك، توافر البرمجيات طرائق لحساب نفاذية السماء، وحساب زوايا ميل ارتفاع التضاريس الملتوية من شبكة نقاط محددة الارتفاع، وعوامل هندسية لتحويل تقديرات الإشعاع من سطوح أفقية إلى سطوح غير أفقية. وأصدر هذا البرنامج على شكل رمز تجميعي NET، وهذا ما يمكّن من تطوير وحدات برمجية في بيئة منظومات التشغيل Windows باستعمال لغات NET. ويسمح تصميم البرنامج من توسيع المقدرة الحسابية لبرمجيات GSRad من دون إعادة تصريفها (Recompilatin). وثمة أمثلة متوافرة لأرمزة مصدريّة لبرامج مكتوبة بلغة برمجة C#. والمكوّن موجود مجاناً في موقع الإنترنت www.sipeaa.it/tools.

وفي دراسة أجراها بياالوبرزوسكي (Bialobrzewski, 2008)، استُعملت شبكات عصبونية صناعية لتقدير رطوبة الهواء النسبية والتنبؤ بها. وحصلت النمذجة العصبونية باستعمال برمجيات ماتلاب و STATISTICA. وجرى التنبؤ برطوبة الهواء النسبية بواسطة شبكة عصبونية صناعية إدراكية أمامية متعددة الطبقات مع تأخير زمني. واستُعملت خوارزمية الانتشار الخلفي لتدريب الشبكة العصبونية في ماتلاب. وجرى التنبؤ من أجل فترات زمنية يساوي كل منها 3 ساعات. وامتد التنبؤ مدة 48 ساعة (16 قياس) بإدخال قيمة متنبأً بها حديثاً. وكان خطأ التنبؤ النسبي الوسطي خلال المدة المعتمدة 2.1٪، وكانت قيمة معامل ترابط بيرسون 0.972. وجرى التنبؤ باستعمال نموذج شبكة عصبونية استرجاعية معممة (Generalized Regression Neural Network) (GRNN). وقد قَدَّر هذا النموذج رطوبة الهواء النسبية عند أعلى قيمة لمعامل ترابط بيرسون التي تساوي 1.00. ولم تُبدَأ الـ GRNN التي طُوِّرت باستعمال ماتلاب أي شروط عشوائية، برغم أن 100٪ من البيانات التجريبية كانت قد استُعملت لتوليد الطوبولوجيا الخاصة بها.

وقدَّمَ فان مِلْغِن وآخرون (Van Milgen et al., 2008) المشروع InraPorc الذي طُوِّر بغرض إدماج مستوى المعرفة الراهنة في نموذج تغذية لتربية الخنازير، وتوفيرها بوصفها أداة دعم قرار للمستعملين النهائيين. يُجَلِّل نموذج تربية الخنازير استعمال المغذيات لأنواع موصَّفة من الخنازير، ويقدر تأثير استعمال استراتيجيات تغذية مختلفة من حيث خصائص الأداء والقيمة الغذائية الذي توافرها الذبائح. وعندما يقوم مستعمل النموذج بضبط موسطاته المتعلقة باستهلاك العلف وإمكانات النمو، لا يحصل التنبؤ بالنمو (بالمعنى المطلق). ويعتمد النموذج على تحويل المغذيات العلفية إلى بروتين وشحوم، وتُستعمل هذه بعدئذٍ للتنبؤ بوزن الجسم وكتلة الهبرة فيه وسماكة شحم الظهر. ويقوم تمثيل استعمال المغذيات بشكل رئيسي على مفاهيم استُعملت في منظومات الطاقة الصافية والبروتينات المثالية. ومن المحفِّزات على تصميم النموذج استهلاك العلف وتقسيم الطاقة بين البروتين والترسُّب الدهني، ووفرة البروتينات الغذائية والحموض الأمينية. وباستعمال البيانات الموجودة في المنشورات، بدا النموذج قادراً على نحو معقول على التنبؤ بعواقب تقييد استهلاك الأعلاف. و InraPorc موجودٌ على موقع الإنترنت /<http://www.rennes.inra.fr> و inraporc/ ومن خلال واجهة تواصل ودودة للمستعمل، ويمكن استعمال هذه الأداة لتصوُّر الجوانب المختلفة لاستعمال المغذيات وطرحها في البراز.

وطور كاتلان (Catalán et al., 2008) نموذجاً حاسوبياً بلغة برمجة بيزيك المرئية للتنبؤ بأداء جرارات ثنائية ورباعية الدفع على الأرض الزراعية. وصُمم النموذج المسمى Tractor_PT للاستعمال في التربية والبحث. وتقود النوافذ ولوائح خيارات المستعمل عبر سلسلة من الخطوات السهلة نسبياً، وواجهة التواصل حدسية وموجهة للمستعمل مع شاشات لانتقاء نوع الجرار وإطاراته وحالته. وتُستعمل في البرمجيات أربعة نماذج تنبؤ تحسب الحمل المحوري المتغير وموسطات التربة والآلة والانزلاق الناجم عن قوة الشدّ بقضيب الجرّ. وهذه الدراسة هي جزء من بحث عن الجرارات والحراثة في جامعة البوليتكنيك في مدريد، التي طوّرت سلسلة من البرامج القائمة على مؤشر المخروط (Cone Index) بوصفه متوسطاً ممثلاً للتضاريس.

لقد تحسّنت المحاكاة في مجال الزراعة كثيراً من حيث الجودة وازدياد المقدرة على التحليل. ومع ذلك ما زال ثمة الكثير مما يجب دراسته لأن ثمة كثيراً من العمليات التي يجب توصيفها، ومن أدوات المحاكاة التي يجب تحسينها.

أدوات الرؤية الآلية

لقد تطوّرت الرؤية الحاسوبية التي تستعمل تقنيات معالجة الصورة وتحليل بيانات الانعكاس تطوّراً سريعاً. وقد استُعملت هذه التكنولوجيا على نطاق واسع في التوصيف الكمي لخواص الحجم والشكل واللون والنسيج في المنتجات المختلفة، مؤدية دوراً متزايد الأهمية في تقييم الجودة مع الحفاظ على الدقة والتناسق ومع إلغاء شخصية التفتيش اليدوي. تمتلك الأدوات الآلية الصناعية مرونة في استعمالها، ويمكن أن تكون بديلاً معقولاً لعملية اتخاذ القرار البصري في التفتيش من قبل الإنسان.

أكمل بيدياتي (Pydipati et al., 2006) دراسة لتحري استعمال الرؤية الحاسوبية في تصنيف أمراض أوراق الحمضيات. واستُعملت في هذه الدراسة أربعة أصناف من أوراق الحمضيات (ذات بقع شحمية وميلانوزية (Melanose)، وعادية، وجرباء). واستُعملت خوارزميات قائمة على تقنيات معالجة الصورة لاستخراج السمات وتصنيفها. واستُعملت في عملية استخراج السمات طريقة ترافق ظهور اللون، التي تستغل لون الصورة ونسيجها للوصول إلى سمات فريدة تمثل تلك الصورة. واستُعمل تحليل المميز (Discriminant Analysis) في منظومة التحليل الإحصائي لتقليص مجموعات المتغيرات ولتقييم دقات التصنيف الممكنة التي يمكن تحقيقها بواسطة مصنّف إحصائي عادي. وقد حقّق تحليل المميز دقات تزيد على

81% في جميع نماذج البيانات التي تستعمل سمات الكثافة، وأكثر من 95.8% حين استعمال سمات الإشباع واللون وحدهما. وحققت أقوى النماذج دقاتٍ تساوي 100% حين استعمال سمات كثافة الإشباع اللوني. وأثبت التحليل أنه يمكن استعمال هذه الطرائق فعلاً لتصنيف أوراق الحمضيات المريضة في أثناء فحصها في ظروف إضاءة مخبرية مضبوطة.

وقدم داليو وآخرون (Delalieux et al., 2008) دليلاً مبتكراً لتقدير مساحة الورقة في الغطاء النباتي البستاني اعتماداً على تشكيلة من مجالي موجة ضيقين للأشعة تحت الحمراء القريبة (1050 و1250 نانو متراً). ولتحقيق ذلك جُمعت مجموعة بيانات طيفية زمنية على مستوى الورقة في بيئة بيت زجاجي متحكّم فيها، وذلك بوصف مجسّ نبات مع مقياس الطيف الراديوي طراز (FieldSpec Pro JR). وجرت بعدئذٍ عملية استكمال داخلي (استيفاء) للبيانات الناتجة بواسطة برمجيات ASD لتوليد قيم عند كل فاصل نانو متري. واستعملت لوحة مرجعية بيضاء طراز Spectralon (من الشركة Labsphere, Inc., North Sutton, NH, USA) لمعايرة الانعكاس. ولاحظ المؤلفون أن الدليل غير حساس للتغيرات الوظيفية على مستوى الورقة حتى في مرحلة التطور الحيوي النباتي المتغير. ومن ناحية أخرى، يتصف الدليل بالحساسية الشديدة للتغير في الغطاء النباتي. وأظهرت القيم التي قُدرت بهذا الدليل المطور حديثاً تطابقاً ممتازاً مع القيم المقاسة محلياً في أشجار الحمضيات، بمعاملات تحديد تساوي 0.83. وأكثر من ذلك إن الدليل sLAIDI كان مستقلاً عن المحتويات المتغيرة من الصبغة. لذا اعتُبر هذا الدليل أداة ثمينة لاستخراج أكثر دقة للموسطات الكيميائية الحيوية بعد تسوية (Normalizing) البيانات الطيفية موضوع الدراسة بنسبها إلى دليل مساحة الورقة.

وطور عبدالله وآخرون (Abdullah et al., 2006) برمجيات لكشف سمات جودة فاكهة الكرمبولا النجمية الذهبية الحسنة المذاق في منظومة تفتيش مؤتمتة باستعمال تكنولوجيا الرؤية الآلية. والسمتان اللتان جرى النظر فيهما هما اللون والشكل. وقد جرى استقصاء استعمال مصنّفات صناعية، مثل تحليل المميّز الخطي والشبكات العصبونية المتعددة الطبقات، بوصفها أدوات لكشف سمات نضج الفاكهة النجمية، ومنها عدم النضج والنضج غير التام والنضج التام والنضج المفرط في فضاء ألوان كثافة الإشباع اللوني. وعلى العموم، حصل التصنيف الوسطي الصحيح بتحليل المميّز الخطي بمعدل 95.3%، والشبكات العصبونية الطيفية 90.5%، في مرحلة

الاختبار. وجرى أيضاً استقصاء استعمال تحليل فورييه لتمييز الشكل. ونتج من هذه الخوارزمية معدل نجاح يساوي 100% في كشف الفاكهة النجمية من خلال ثلاث فئات للشكل: شكل جيد وتشوه قليل وتشوه شديد. وتأثر كل من تحليل اللون والشكل بسهولة عند تغيير مستوى الإضاءة، وأسهم ذلك في خطأ التصنيف الرئيسي.

وقدم زبوتزني (Zapotoczny et al., 2008) استقصاءً استكشافياً لاستعمال السمات الشكلية في تحليل الصورة من أجل تصنيف شعير الربيع البولندي. وكان الغرض من الدراسة تحديد إمكان استعمال السمات الشكلية لتصنيف حبوب خمسة أنواع من الشعير، وإيجاد أفضل طريقة لذلك التصنيف بأصغر خطأ ممكن. وتضمنت معالجة الصورة تحصيل الصورة وتجزئتها واستخراج سماتها الداخلية والخارجية وتصنيفها وتفسيرها. وقد وُصفت كل حبة شعير باستعمال 74 سمة شكلية نُقلت إلى برنامج اسمه B11 من أجل مزيد من المعالجة والتصنيف. وكُتِب البرنامج بلغة برمجة Object Pascal وُصِّف باستعمال رزمة برمجيات Delphi 6 Inprise. وجرى الانتقاء اعتماداً على معامل فيشر (Fisher Coefficient)، واحتمال الخطأ ومعامل الترابط الوسطي، إضافة إلى معلومات متبادلة. واستعمل تحليل المكونات المبدئي وتحليل المميز الخطي وتحليل المميز اللاخطي طرائق للتصنيف. وأكدت النتائج أنه يمكن استعمال الطريقة التي تعتمد السمات الشكلية بنجاح في تحليل الصورة من أجل التصنيف الأولي لحبوب الشعير. يُضاف إلى ذلك أنه وُجد أن تحليل المميز الخطي هو أفضل طريقة ميّزت بين أنواع مختلفة من الأشياء.

وكان الغرض من البحث الذي أجراه جاريموباس وجازن (Jarimopas and Jaizin, 2008) تطوير منظومة فرز تجريبية بالرؤية الآلية للتمر الهندي الحلو اعتماداً على تقنيات معالجة الصورة. ومن موسطات الفرز المستعملة الشكل (مستقيم ومنحنٍ قليلاً ومنحنٍ) والحجم (صغير ووسط وكبير) والعيوب السطحية. وتضمنت منظومة الفرز استعمال كاميرا CCD كُيِّفت لتعمل مع بطاقة تلفزيون، ومتحكّات صغيرة ومجسّات وحاسوب صغيري. وأجري التحليل بواسطة برمجيات معالجة صورة. وطُوِّر برنامج حاسوبي بلغة برمجة ++5.0 C لمعالجة وتحليل الصور. وبيّنت النتائج أن منظومة الفرز بالرؤية الآلية يمكن أن تفصل تمر هندي السيتونغ (Sitong) بمعدل وسطي للفرز الناجح يساوي 89.8% وبسعة تساوي 1517 ثمرة في الساعة.

واختبر فترزغالد (Fitzgerald et al., 2006) مقدرة البرمجيات ESAP-RSSD على الأخذ المباشر للعينات من الأرض باستعمال صور جوية لأغراض التنبؤ بصفات معينة لمحصول القطن، منها الارتفاع والعرض، بواسطة معادلات ارتدادية معيارية على نحو ملائم. ومع أن هذه البرمجيات المستندة إلى نظرية سطح الاستجابة (Response Surface Theory) قد طوّرت من أجل تقدير الملوحة، فإنها تمكّن من إدخال أي بيانات مكانية أرضية مستشعرة من بُعد، وتعظم احتمال توليد تصميم أخذ عينات يُنتج رواسب نموذج ارتدادي غير مترابط مكانياً. ووفقاً لقول المؤلفين، ثمة حاجة إلى أمكنة قليلة نسبياً (لتقدير نماذج ارتدادية عادية)، ويمكن توليد خرائط لصفات المحاصيل وتحصيلها بسهولة في غضون نحو 36 ساعة. وبرغم استعمال مجالات طيفية متعددة ووجود بعثرة في البيانات، وُجد أن كل البيانات الناجمة عن الصور مترابطة جيداً مع كل من ارتفاع المحصول وعرضه خلال تواريخ متعددة في ثلاثة مواسم للقطن. ووفقاً لقول المؤلفين، يمكن استعمال إجراءات يمكن أن تكون أكثر فائدة للمنتج والخبير، ومنها مثل حالة النتروجين والبخار التنفسي، إذا كانت البيانات تحقّق فرضيات النمذجة الاستراتيجية. ويتصف هذا النهج بمزية تزويد مدير المزرعة بعدد صغير من الأمكنة غير الملتبسة يمكن أن تؤخذ عيناتها بسرعة وتُعالج لتطبيقات زراعية دقيقة.

واقترح تليش وآخرون (Tellaeche et al., 2008) طريقة رؤية حاسوبية آلية لكشف عشبة طفيلية ضارة تنمو ضمن محاصيل الحبوب تسمى أفينا ستيرليس (Avena Sterilis)، ورش انتقائي لمكافحةها. والغرض الرئيسي من هذا العمل كان تحديد مقدار وتوزع الأعشاب الطفيلية في المحصول، واتخاذ قرار مبني على المعرفة بخصوص إجراء رش انتقائي لمكافحةها. وتتألف المنظومة المقترحة من عملية تجزئة للصورة، وطريقة لاتخاذ القرار. وتستخرج عملية التقسيم خلايا من الصورة بوصفها وحدات مستوٍ منخفض، في حين أن مقدار وتوزع الطفيليات في الخلية يُرسمان على شكل مساحة وصفات هيكلية. ومن هذه الصفات، تمكّن طريقة اتخاذ قرار متعددة المعايير في سياق ترجيحي من اتخاذ قرار بخصوص حاجة أي خلية للرش. وبدأ المؤلفون بالقول إن المنظومة المطوّرة يمكن أن تسهم في تخفيف وطأة مشكلتين رئيسيتين متأصلتين في أي تقدير بشري، هما التدريب غير الكافي والانخفاض المستمر في جودة التقدير بسبب التعب.

ونظراً إلى أن المنظومات الزراعية تتصف عادة بتغيّر نباتي مكاني زمني مستمر،

قدّم بي وآخرون (Ye et al., 2008) منظومة تصوير أرضية متعددة الأطياف من أجل توصيف سمات النباتات الطيفية. واستعمل المؤلفون مجسّس الأطياف الخطية المتعددة (VIO-12-102) (ImSpector) ذا الميز الطيفي الاسمي 1.5-2 نانو متراً، ومجال أطوال موجات من 360 حتى 1010 نانو متراً. وطوّرت واجهة مستعمل بيانية ضمن بيئة ماتلاب للمساعدة على معالجة وتحليل بيانات الصورة الطيفية المحصّلة المتعددة الأبعاد. ومن المسائل التي تظهر حين استعمال منظومة تصوير في مجال معين تحصيل صور متعددة الأطياف وانتقاء سمات نباتية ملائمة وتحديد السمات أو المؤشرات النباتية المتتقاة كميًا بواسطة واجهة المستعمل البيانية المطوّرة. وتُسهم السمات النباتية المستخرجة بواسطة منظومة التصوير المقترحة في مراقبة التغيّر النباتي في المنظومات الزراعية، وتوافر مصدرًا محتملاً للمتغيرات ذات الصلة التي يمكن استعمالها لتقدير موسطات النبات المختلفة.

إن تكنولوجيا الرؤية الآلية مرشحة لتكون شديدة الأهمية للزراعة. إذ يمكن لها أن تصبح شائعة في المستقبل القريب في الاستشعار عن بُعد، من الأرض ومن الجو، من أجل تقييم الموارد الطبيعية والزراعة الدقيقة وجودة المنتج ما بعد الحصاد، وكشف المخاطر. وسوف يحقّق التقدّم فيها منظومات دقيقة منيعة منخفضة التكلفة للتصنيف والفرز والتحكّم الآلي.

خلاصة

استعرضنا في هذه المقالة التطوّرات الأخيرة في البرمجيات الزراعية. لقد استُعملت منظومات مختلفة على نحو متزايد في العمليات الزراعية لأغراض التحكّم وتحصيل البيانات والتفتيش والتقييم لأنها يمكن أن توافر تقديرات موضوعية سريعة، متناسقة واقتصادية.

لكنّ ما زالت ثمة صعوبات في الاستيعاب التجاري البطيء نسبياً للتكنولوجيات المطوّرة والمدروسة في جميع القطاعات. إلا أنّ ظهور الحلول الرخيصة والسريعة في البرمجيات والعتاديات سوف يؤدي إلى تجاوز تلك الصعوبات بتوفيرها لأدوات زراعية فاعلة ودقيقة قادرة على تحسين الإدارة وتكليف العمليات بحيث تلبّي المتطلبات الهائلة وتخفّض التكاليف إلى حدّ كبير.

مراجع

Abdullah, M. Z., Mohamad-Saleh, J., Fathinul-Syahir, A. S. & Mohd-Azemi, B. M. N. (2006). Discrimination and classification of fresh-cut starfruits (*Averrhoa carambola* L.) using automated machine vision system. *Journal of Food Engineering*, 76(4), 506-523.

Aggarwal, P. K., Kalra, N., Chander, S. & Pathak, H. (2006). InfoCrop: A dynamic simulation model for the assessment of crop yields, losses due to pests, and environmental impact of agro-ecosystems in tropical environments. *I. Model description. Agricultural Systems*, 89 (1), 1-25.

Agostinho, F., Diniz, G., Siche, R. & Ortega, E. (2008). The use of emergy assessment and the Geographical Information System in the diagnosis of small family farms in Brazil. *Ecological Modelling*, 210, 37-57.

Assaf, H. & Saadeh, M. (2008). Assessing water quality management options in the Upper Litani Basin, Lebanon, using an integrated GIS-based decision support system. *Environmental Modelling & Software*, 23, 1327-1337.

Bartel, R., Janisch, S., Schwarz, N., Trifkovic, A., Nickel, D., Schulz, C. and Mauser, W. (2008). An Intergrated modelling framework for simulating regional-Scale actor responses to global change in the water domain. *Environmental Modelling and Software*, 23, 1095-1121.

Bazzani, G. M. (2005). An integrated decision support system for irrigation and water policy design: DSIRR. *Environmental Modelling and Software*, 20, 153-163.

Beaudoin, N., Launay, M., Sauboua, E., Ponsardin, G. and Mary, B. (2008). Evaluation of the soil crop model STICS over 8 years against the "on farm" database of bruyeres catchment. *European Journal of Agronomy*, 29, 46-57.

Benson, E. R., Reid, J. F. and Zhang, Q. (2003). Machine vision-based guidance system for agricultural grain harvesters using cut-edge

detection. *Biosystems Engineering*, 86(4), 389-398.

Bialobrzewski, I. (2008). Neural modelling of relative air humidity. *Computers and electronics in Agriculture*, 60, 1-7.

Brosnan, T. and Sun, D. W. (2002). Inspection and grading of agricultural and food products by computer vision systems – a review. *Computers and Electronics in Agriculture*, 36, 193-213.

Buckmaster, D. R. and Hilton, J. W. (2005). Computerized cycle analysis of harvest, transport, and unload systems. *Computers and Electronics in Agriculture*, 47, 137-147.

Catalán, H., Linares, P. and Méndez, V. (2008). Tractor PT: A traction prediction software for agricultural tractors. *Computers and Electronics in Agriculture*, 60, 289-295.

Chatelin, M. H., Aubry, C., Poussin, J. C., Meynard, J. M., Massé, J. Verjux, N., Gate. Ph. and Le Bris, X. (2005). DéciBlé, a Software package for Wheat crop management simulation. *Agricultural Systems*, 83, 77-99.

Chen, Y. R., Chao, K. & Kim, M. S. (2002). Machine vision technology for agricultural applications. *Computers and Electronics in Agriculture*, 36, 173-191.

Chertov, O., Komarov, A., Mikhailov, A., Andrienko, G., Afrienko, N. & Gatal'sky, P. (2005). Geovisualization of forest simulation modelling results: A case study of carbon sequestration and biodiversity. *Computers and Electronics in Agriculture*, 175-191.

De, S. & Bezuglov, A. (2006). Data model for a decision support in comprehensive nutrient management in the United States. *Environmental Modelling & Software*, 21, 852-867.

Delalieux, S., Somers, B., Hereijgers, S., Verstraeten, W. W., Keulemans, W. & Coppin, P. (2008). A near-infrared narrow-waveband ratio to determine Leaf Area Index in orchards. *Remote Sensing of Environment*, 112, 3762-3772.

Donatelli, M., Carlini, L. & Bellocchi, G. A. (2006). A software component for estimating solar radiation. *Environmental Modelling and Software*, 21, 411-416.

Dourado Neto, D., Reichard, K., Silva, A. L., Bacchi, O. O. S.,

Timm, L. C., Oliveira, J. C. M. & Nielsen, D. R. (2007). A software to calculate soil hydraulic conductivity in internal drainage experiments. *Revista Brasileira de Ciencia do Solo* [On-line serial], 31(5).

Du, C. J., Sun & D. W. (2004). Recent developments in the applications of image processing techniques for food quality evaluation. *Trends in Food Science and Technology*, 15, 230-249.

Edelma, L. (2007). Using geographical information systems in injury research. *Journal of nursing scholarship*, 39 (4), 306-311.

Ellis, E. A., Nair, P. K. R. & Jeswani, S. D. (2005). Development of a web-based application for agroforestry planning and tree selection. *Computers and Electronics in Agriculture*, 49, 129-141.

Falcão, A. O., Santos, M. P. & Borges, J. G. (2006). A real-time visualization tool for forest ecosystem management decision support. *Computers and Electronics*, 53, 3-12.

Fitzgerald, G., J., Lesch, S. M., Barnes, E. M. & Lockett, W. E. (2006). Directed sampling using remote sensing with a response surface sampling design for site-specific agriculture. *Computers and Electronics in Agriculture*, 53, 98-112.

Flinn, P. W., Hagstrum, D. W., Reed, C. R. & Phillips, T. W. (2007). Stored Grain Advisor Pro: Decision support system for insect management in commercial grain elevators. *Journal of Stored Products Research*, 43, 375-383.

Fonss, A. & Munksgaard, L. (2008) Automatic blood sampling in dairy cows. *Computers and Electronics*, 64, 27-33.

Fuller, T. & Sarkar, S. (2006). LQGraph: A software package for optimizing connectivity in conservation planning. *Environmental Modelling & Software*, 21, 750-755.

Furferi, R., Carfagni, M. & Daou, M. (2007). Artificial neural network software for real-time estimation of olive oil qualitative parameters during continuous extraction. *Computers and Electronics in Agriculture*, 55, 115-131.

Giambastiani, G. (2008). SelGen: System to dynamically evaluate

and compare the agronomic behavior of genotypes that participate in networks of comparative yield trials. *Computers and Electronics in Agriculture*, 60, 110-112.

Hélias, A., Guerrin, F. & Steyer, J. P. (2008). Using timed automata and model checking to simulate material flow in agricultural production systems - Application to animal waste management. *Computer and Electronics in Agriculture*, 63, 183 -192.

Helmer, T., Ehret, D. L. & Bittman, S. (2005). CropAssist, an automated system for direct measurement of greenhouse tomato growth and water use. *Computer and Electronics in Agriculture*, 48, 198-215.

Herrero, M., González-Estrada, E. & Thornton, P. K. (2007). IMPACT: Generic household level databases and diagnostics tools for integrated crop-livestock systems analysis. *Agricultural Systems*, 92, 240-265.

Hilten, R. N., Lawrence, T. M. & Tollner, E. W. (2008). Modelling stormwater runoff from green roofs with HYDRUS-ID. *Journal of Hydrology*, 358, 288-293.

Igathinathane, C., Prakash, V. S. S., Padma, u., Ravi Babu, G. & Womac, A. R. (2006). Interactive computer software development for leaf area measurement. *Computers and Electronics in Agriculture*. 51, 1-16.

Isee Systems (2007). Technical document for the iThink and STELLA software. <<http://www.iseesystems.com>>.

Jarimopas, B. & Jaisin, N. (2008). An experimental machine vision system for sorting sweet tamarind. *Journal of Food Engineering*, 89, 291-297.

Jiang, J. A, Tseng, C. L., Lu, F. M., Yang, E. C., Wu, Z. S., Chen, C. P., Lin, S. H., Lin, K. C. & Liao, S. S. (2008). A GSM-based remote wireless automatic monitoring system for field infestation: A case study for ecological monitoring of the oriental fruit fly, *Bactrocera dorsalis* (Hendel). *Computer and Electronics in Agriculture*, 62, 243-259.

Jorgensen, R. N., Norremark, M., Sorensen, C. G. & Andersen, N. A. (2008). Utilizing scripting language for unmanned and automated guided vehicles operating within row, crops. *Computers and Electronics in Agriculture*, 62, 190-203.

Kaloudis, S., Anastopoulos, D., Yialouris, C. P., Lorentzos, N. A. & Sideridis, A. B. (2005). Insect identification expert system for forest protection. *Expert Systems with Applications*, 28, 445-452.

Kawasaki, M., Kawamura, S., Tsukahara, M., Morita, S., Komiya, M. & Natsuga, M. (2008). Near-infrared spectroscopic sensing system for on-line milk quality assessment in a milking robot. *Computers and Electronics in Agriculture*, 63, 22-27.

Kazanci, C. (2007). EcoNet: A new software for ecological modelling, simulation and network analysis. *Ecological Modelling*, 208, 3-8.

Krishnan, M., Foster, C. A., Strosser, R. P., Glancey, J. L. & Sun, J. Q. (2006). Adaptive modelling and control of a manure spreader for precision agriculture. *Computer and Electronics in Agriculture*, 52, 1-10.

Larson, J. A., Roberts, R. K., English, B. C., Cochran, R. L. & Wilson, B. S. (2005). A computer decision aid for the cotton yield monitor investment decision. *Computer and Electronics in Agriculture*, 48, 216-234.

Laughlin, G. P., Ranatunga, K., Brinkley, T. R., Johnson, I. R. & Hutchinson, M. F. (2007). GROWEST PLUS: A tool for rapid assessment of seasonal growth for environmental planning and assessment. *Environmental Modelling & Software*, 22, 1196-1207.

Le Ber, F., Benoit, M., Schott, C., Mari, J. F. & Mignolet, C. (2006). Studying crop sequences with CarrotAge, a HMM-based data mining software. *Ecological Modelling*, 191(1), 170-185.

Ledoux, E., Gomez, E., Monget, J. M., Viavattene, C., Viennot, P., Ducharne, A., Benoit, M., Mignolet, C., Schott, C. & Mary, B. (2007). Agriculture and groundwater nitrate contamination in the Seine

basin. The STICS-MODCOU modelling chain. *Science of the Total Environment*, 375, 33-47.

Lexer, M. J., Vacik, H., Palmetzhofer, D. & Oitzinger, G. (2005). A decision support tool to improve forestry extension services for small private landowners in southern Austria. *Computers and Electronics in Agriculture*, 4, 9, 81-102.

Loghavi, M. & Mackvandi, B. B. (2008). Development of a target oriented weed control system. *Computer and Electronics in Agriculture*, 63, 112-118.

Lopes, D. C., Martins, J. H., Lacerda Filho, A. F., Melo, E. C., Monteiro, P. M. & Queiroz, D. M. (2008). Aeration strategy for controlling grain storage based on simulation and on real data acquisition. *Computers and Electronics in Agriculture*, 63, 140-146.

Lopes, D. C., Martins, J. H., Melo, E. C. & Monteiro, P. M. B. (2006). Aeration simulation of stored grain under variable air ambient conditions. *Postharvest Biology and Technology*, 42, 115-120.

Lopes, D. C., Melo, E. C., Lacerda Filho, A. F. & Queiroz, D. M. (2005) AIRE - Software for aeration system design. *Revista Engenharia Agricola*, 13(3), 202-209.

Malczewski, J. (2004). GIS-based land-use suitability analysis: a critical overview. *Progress in Planning*, 62, 3-65.

Masera, O., Ghilardi, A., Drigo, R. & Trossero, M. A (2006). WISDOM: A GIS-based supply demand mapping tool for woodfuel management. *Biomass and Bioenergy*, 30(7), 618-637.

Metternicht, G. & Gonzalez, S. (2005). FUERO: foundations of a fuzzy exploratory model for soil erosion hazard prediction. *Environmental Modelling & Software*, 20, 715-728.

Moore, A. D., Holzworth, D. P., Herrmann, N. I., Huth, N. L. & Robertson, M. J. (2007). The Common Modelling Protocol: A hierarchical framework for simulation of agricultural and environmental systems. *Agricultural Systems*, 95, 37-48.

Mottran, T., Lowe, J., McGowas, M. & Phillips, N. (2008). A wireless telemetric method of monitoring clinical acidosis in dairy

cows. *Computers and Electronics in Agriculture*, 64, 45 - 48.

Moura, D. J., Silva, W. T., Naas, I. A., Tolón, Y. A., Lima, K. A. O. & Vale, M. M. (2008). Real time computer stress monitoring of piglets using vocalization analysis. *Computers and Electronics in Agriculture*, 64, 11-18.

Murakami, N., Ito, A., Jeffrey, D. W., Steffen, M., Inoue, K., Kita, K. & Myaura, S. (2008). Development of a teleoperation system for agricultural vehicles. *Computers and Electronics in Agriculture*, 63, 81-88.

Pydipati, R, Burks, T. F. & Lee, W. S. (2006). Identification of citrus disease using color texture features and discriminant analysis. *Computers and Electronics in Agriculture*, 52, 49-59.

Ramos, M. I., Gil, A. J., Feito, F. R. & Garcia-Ferrer, A. (2007). Using GPS and GIS tools to monitor olive tree movements. *Computers and Electronics in Agriculture*, 57, 135-148.

Rao N. H. (2007). A framework for implementing information and communication technologies in agricultural development in India. *Technological Forecasting and Social Change*, 74, 491-518.

Rao, M., Fan, G., Thomas, J., Cherian, G., Chudiwale, V. & Awawdeh, M. (2007). A web based GIS decision support system for managing and planning USDA's Conservation Reserve Program (CRP). *Environmental Modelling and Software*, 22, 1270-1280.

Rees, H. G., Holmes, M. G. R., Fry, M. J., Young, A. R., Pitson, D. G. & Kansakar, S. R. (2006). An integrated water resource management tool for the Himalayan region. *Environmental Modelling & Software*, 21 (7), 1001-1012.

Richards, Q. D., Bange, M. P. & Johnston, S. B. (2008). HydroLOGIC: An irrigation management system for Australian cotton. *Agricultural Systems*, 98, 40-49.

Rudner, M., Biedermann, R., Schroder, B. & Kleyer, M. (2007). Integrated Grid Based Ecological and Economic (INGRID) landscape model - A tool to support landscape management decisions.

Environmental Modelling & Software, 22, 177-187.

Santé-Riveira, I., Crecente-Maseda, R. & Miranda-Barrós, D. (2008). GIS-based planning support system for rural land-use allocation. *Computers and Electronics in Agriculture*, 63, 257-273.

Simota, C., Hom, R., Fleige, H., Dexter, A., Czyz, E. A, Diaz-Pereira, E., Mayol, F., Rajkai, K. & de la Rosa, D. (2005). SIDASS project - Part 1. A spatial distributed simulation model predicting the dynamics of agro-physical soil state for selection of management practices to prevent soil erosion. *Soil & Tillage Research*, 82, 15-18.

Sommer, R, Wall, P. C. & Govaerts, B. (2007). Model-based assessment of maize cropping under conventional and conservation agriculture in highland Mexico. *Soil & Tillage Research*, 94, 83-100.

Sulistyawati, E., Noble, I. R. & Roderick, M. L. (2005). A simulation model to study land use strategies in swidden agriculture systems. *Agricultural Systems*, 85, 271-288.

Tanaka, F., Maeda, Y., Uchino, T., Hamanaka, D. & Atungulu, G. G. (2008). Monte Carlo simulation of the collective behavior of food particles in pneumatic drying operation. *LWT-Food Science and Technology*, 41,1567-1574.

Tchamitchian, M., Martin-Clouare, R, Lagier, J., Jeannequin, B. & Mercier, S. (2006). SERRISTE: A daily set point determination software for glasshouse tomato production. *Computer and Electronics in Agriculture*, 50, 25-47.

Tellaeche, A., BurgosArtizzu, X. P., Pajares, G., Ribeiro, A. & Fernández-Quintanilla, C. (2008). A new vision-based approach to differential spraying in precision agriculture. *Computers and Electronics in Agriculture*, 60, 144-155.

Tixier, P., Malézieux, E., Doresl, M. & Wery, J. (2008). SIMBA, a model for designing sustainable banana-based cropping systems. *Agricultural Systems*, 97, 139-150.

Ulbrich, K., Drechsler, M., Wätzold, F., Johst, K. & Settele, J.

(2008). A software tool for designing cost-effective compensation payments for conservation measures. *Environmental Modelling & Software*, 23, 122-123.

Van Henten, E. J., Van Tuijl, B. A. J., Hoogakker, G. J., Van Der Weerd, M. J., Hemming, J., Kornet, J. G. & Bontsema, J. (2006). An Autonomous Robot for De-leafing Cucumber Plants grown in a High-wire Cultivation System. *Biosystems Engineering*, 94 (3), 317-323.

Van Milgen, J., Valancogne, A, Dubois, S., Dourmad, J. Y, Sève, B. & Noblet, J. (2008). InraPorc: A model and decision support tool for the nutrition of growing pigs. *Animal Feed Science and Technology*, 143, 387-405.

Vellidis, G., Tucker, M., Perry, C., Kvien, C. & Bednarz, C. (2008). A real-time wireless smart sensor array for scheduling irrigation. *Computers and Electronics in Agriculture*, 61, 44-50.

Vos, J. A., Van Bakel, P. J. T., Hoving, I. E. & Conijn, J. G. (2006). Waterpas-model: A predictive tool for water management, agriculture, and environment. *Agricultural Water Management*, 86, 187-195.

Wang, N., Zhang, N., Wei, J., Stoll, Q. & Peterson, D. E. (2007). A real-time, embedded, weed-detection system for use in wheat fields. *Biosystems Engineering*, 98, 276-285.

Wharton, P. S., Kirk, W. W., Baker, K. M. & Duynslager, L. (2008). A web-based interactive system for risk management of potato late blight in Michigan. *Computers and Electronics in Agriculture*, 61, 136-148.

Ye, X., Sakai, K., Okamoto, H. & Garciano, L. O. (2008). A ground-based hyperspectral imaging system for characterizing vegetation spectral features. *Computers and Electronics in Agriculture*, 63, 13-21.

Zapotoczny, P., Zielinska, M. & Nita, Z. (2008). Application of image analysis for the varietal classification of barley: morphological features. *Journal of Cereal Science*, 48, 104-110.

Zhang, S. & Goddard, S. (2007). A software architecture and framework for Web-based distributed Decision Support Systems.

Decision Support Systems, 43, 1133 -1150.

Zhang, X. B., Chen, X. X. & Cheng, J. A. (2008). SIKey: A tool to generate secondary identification keys for targeted diagnosis. *Expert Systems with Applications*, 34, 2812-2818.

الفصل الرابع

النشر المُمكن للأسمدة العضوية على الأرض

الزراعية: نظرة إجمالية

Hubert Landry¹, Claude Laguë² and Joy M. Agnew³

¹Prairie Agricultural Machinery Institute, Saskatchewan, Canada

²Faculty of Engineering, University of Ottawa, Ontario, Canada

³Department of Agricultural and Bioresource Engineering,

University of Saskatchewan,

Canada

ملخص

غالباً ما تُمثّل أسمدة روث الحيوانات وغيرها من المنتجات العضوية الثانوية من مصادر متنوّعة (صناعية وزراعية ومنزلية... إلخ) مصدراً متوافراً بسهولة للمغذيات التي يمكن استعمالها في منظومات التربة والمحصول. ويمثّل استعمالها في الأرض الزراعية بديل تدوير ثميناً للتخلّص من هذه المنتجات الثانوية العضوية. ويجب أن تحقّق المنظومات الميكانيكية المستعملة لنشر الأسمدة العضوية وظائف محدّدة تعتمد بالدرجة الأولى على خواص المواد الفيزيائية والسوائلية، وعلى أنماط استعمالها المرغوب فيها، إضافة إلى اعتبارات أخرى اقتصادية واجتماعية. ويُقدّم هذا الفصل تحليلاً للوظائف التي تقوم بها منظومات نشر الأسمدة على الأرض الزراعية، مع مراجعة للتكنولوجيات المتوافرة والبازغة في ضوء هذا التحليل. وثمة تأكيد ضرورة أن يفهم مصمّمو آلات نشر الأسمدة، ومشغّلوها أيضاً، الوظائف التي على تلك الآلات القيام بها، وأهمية التأثيرات المتبادلة بينها وبين مواد الأسمدة حين التعامل مع الطيف الكامل للأسمدة العضوية السائلة والوحلية والصلبة.

ويجب أيضاً تحديد معايير لتقييم أداء التكنولوجيات المختلفة من حيث النتائج المرجوة. تاريخياً، اقتصرَت المنظومات المصمَّمة لنشر الأسمدة العضوية على الاستعمال الزراعي للمنتجات الثانوية الزراعية. ونظراً إلى أن التخلُّص الحقلّي من هذه المنتجات الثانوية كان الغرض الرئيسي، فقد كان معيار التصميم الرئيسي الشائع متمحوراً حول تخفيض تكلفة التصميم وزيادة متانته. لكن مع تزايد الاهتمام بالاستدامة البيئية، أصبح من الضروري مزاوجة وظيفة الآلة الخاصة بالتخلُّص من تلك المواد، مع متطلبات تشغيلية مقترنة بالتدوير الصحيح للمنتجات الثانوية العضوية بواسطة منظومات التربة والمحصول. إن هذا التأكيد القوي لتدوير المغذّيات يمكن أن يقلّل من الحاجة إلى معظم الآلات الاقتصادية لمصلحة منظومات ذات أداء أفضل.

1- تقديم

ثمة إدراك تام لقيمة الأسمدة العضوية الناتجة من مصادر متنوّعة، وذلك من حيث استعمالها في الزراعة. فهي بوصفها مصدراً لتغذية النباتات وللحماة العضوية، تُنشر على الأرض الزراعية بغية تدويرها بواسطة منظومات التربة والمحاصيل. ويركّز هذا الفصل الاهتمام في الجوانب الهندسية لنشر الأسمدة العضوية. في البداية، سوف تُجري مراجعة لفوائد الأسمدة الزراعية والصعوبات المقترنة بنشرها على الأرض. ثم نستقصى مكننة نشرها من حيث الوظائف التي على الآلات تنفيذها، والمنظومات المستعملة حالياً لتنفيذ تلك الوظائف. وسوف نقوم بتحريّ لمفاعيل الأسمدة العضوية في البيئة يقود إلى مراجعة لجهود البحث الحالية وتوجّهاته المستقبلية في هذا المجال.

إن هدف المؤلفين هو تزويد القارئ بنظرة إجمالية شاملة إلى الجوانب الهندسية المقترنة بنشر الأسمدة العضوية على الأرض الزراعية. وقد بُذلت مساعٍ حميدة في تحضير هذه الوثيقة. ونظراً إلى أن الاختصار كان مطلوباً، فقد بُذل جهد كبير لتغطية أكبر قدر ممكن من الموضوع.

2- الفوائد والتحدّيات المقترنة بنشر الأسمدة العضوية على الأرض

طوال قرون، استعمل روث المواشي والمواد العضوية المتفكّكة وغيرها من أنواع الأسمدة العضوية لتسميد تربة المحاصيل الزراعية بوصفها وسيلة فاعلة لتدوير المواد العضوية الثانوية الناتجة من الأنشطة الزراعية وغيرها من الأنشطة

البشرية. وعلى مدى فترة طويلة، كان ثمة إدراك مفاده أن مغذيات النباتات المحتواة في تلك المواد العضوية يمكن أن تحسّن خصوبة التربة وبنيتها، مؤدية إلى زيادة مردود المحاصيل. وفي عام 2000، نُشر روث المواشي بشتى صورته على نحو ثلاثة ملايين هكتار من الأرض الزراعية في كندا (Wang, 2004). وفي الولايات المتحدة، نُشر روث مواشٍ على أكثر من تسعة ملايين هكتار من الأرض في عام 2002 (USDA, 2002). فمعظم المحاصيل الزراعية الدائمة والسنوية، إضافة إلى كثير من الأشجار، يمكن أن تستفيد بسهولة من الأسمدة العضوية.

وفي الزراعة الحديثة، يمكن للأسمدة العضوية إما أن تُتمّم الأسمدة التركيبية أو أن تحلّ محلها. وبوصفها منتجات ثانوية للأنشطة البشرية الأخرى، فإنها تنطوي على مزايا اقتصادية وبيئية مقارنة بالأسمدة التركيبية من حيث تقليص استعمال الموارد الرئيسية، وتخفيض تكلفة الإنتاج واستهلاك الطاقة. من ناحية أخرى، يمكن للأسمدة العضوية أن تقدّم للنبات مغذيات بصيغة أكثر تركيزاً وتوافراً، علاوة على أنه يمكن ضبط صيغها من حيث نسبة المغذيات فيها تبعاً للاحتياجات الخاصة بمنظومات التربة والمحاصيل. وقد غدت خطط إدارة التسميد، على نحو متزايد، أدوات شعبية طوعية، أو مفروضة بالتشريعات بوصفها جزءاً من إطار عمل الإنتاج الزراعي المستدام. وتنطوي تلك الخطط على تأثير مباشر في استعمال الأسمدة العضوية والتركيبية، خاصة من حيث أنماط ومعدلات النشر (Jarvis et al., 2004).

يتطلب استعمال أي نوع من مواد التسميد في المنظومات الزراعية ما يأتي:

- تحديد معدل النشر المناسب (كتلة السماد لوحدة مساحة من الأرض) تبعاً لمتطلبات تغذية النبات وخصائص التربة. ويمكن تحديد معدلات النشر على مستوى الحقل برمته، أو المستوى الموضوعي، بدقة حينما تكون المعلومات الخاصة بكل من الموقع والمحصول والتربة متوافرة (الزراعة الدقيقة مثلاً).

- التعرّف على أكثر أنماط نشر مواد التسميد وتوزيعها ملاءمة للتربة والمحصول (نشر سطحي واسع أو ضمن نطاقات، أو نشر تحت السطح بالحقن أو التضمين، مثلاً)، وذلك في ضوء جميع الاعتبارات الزراعية والاقتصادية والبيئية ذات الصلة.

وسواء استعملت الأسمدة العضوية مصدراً رئيسياً أم متمماً لتغذية النبات، يبقى نشرها عملية حقلية شديدة الأهمية لعدد كبير من المحاصيل الزراعية في كل

من البلدان المتقدمة والنامية. ومن التحديثات الخاصة التي يجب التصدي لها بواسطة تجهيزات نشر السماد العضوي على الأرض الآتي:

• التعامل مع كميات كبيرة من المواد ومعدلات النشر العالية بسبب المحتوى المنخفض نسبياً من المغذيات في معظم الأسمدة العضوية.

مثال: يمكن لكيلو غرام واحد من روث خنازير حديث الطرح أن يحتوي على أقل من 10 غرام، أو 1٪، من النتروجين (N)، وأكثر من 1 غرام بقليل أو 0.1٪ من الفوسفور (P)، وأقل من 4 غرامات أو 0.4٪ من البوتاسيوم (ASABE, (K), (2006)، ويمكن لبعض هذه المغذيات أن يضيع أثناء التخزين، وأثناء النشر على الأرض أيضاً (تطاير النتروجين مثلاً). وبالمقارنة، يحتوي الكيلو غرام من نترات الأمونيوم على 340 غراماً من النتروجين، ويحتوي الكيلو غرام من السوبرفوسفات الثلاثي على 460 غراماً من الفوسفات، أو 200 غرام من عنصر الفوسفور P، ويحتوي الكيلو غرام من بوتاس الكلورايد على 600 غرام من البوتاس، أو 330 غراماً من عنصر البوتاسيوم (KoroI, 2002). لذا فإن نسبة المغذيات في السماد العضوي، مثل روث الخنزير، أصغر بمرتبة كبر أو اثنتين من تلك الموجودة في سماد تركيبي عادي.

الاختلافات الكبيرة في نسب المغذيات في السماد العضوي وفي تماسكه (صلب، شبه صلب، سائل مثلاً) مقارنة بالأسمدة التركيبية، وهذا يؤدي إلى الحاجة إلى مراقبة نسبة المغذي من كذب، وتعديل معدل النشر تبعاً لها. وقد اقترحت منظومات للضبط الآلي لمعدل النشر بقياس كتلة السماد على ناقل التفريغ في مؤخر الناشر (Thirion et al., 1998) أو بتسجيل العزم عند خفاقة السماد بوصفه مؤشراً إلى مقدار السماد الذي يجري نشره (SRI, 1998). أما استشعار المغذيات أثناء الرش فما زال في مرحلة التطوير.

• أنماط النشر المكيفة مع حاجات منظومات التربة والمحصول المختلفة، ومع الخصائص الفيزيائية والتدفقية لأنواع الأسمدة العضوية المختلفة.

• مخاطر الارتصاص المفرط للتربة الناجم عن حركة آلات النشر الثقيلة فوقها.

• المفاعيل الاجتماعية لعمليات النشر على الأرض، ومنها صدور الروائح الكريهة أو نقل كميات كبيرة من المواد على الطرقات العامة. ففي كثير من البلدان المصنعة، كان ثمة توجه نحو تركيز تربية المواشي في إطار عمليات واسعة النطاق، واقتضى

ذلك نقل الروث مسافات أطول بين مواقع تربية الحيوانات والحقول المرسلة إليها. ونظراً إلى المزايا الزراعية والاقتصادية والبيئية الكثيرة المقترنة بالاستعمال السليم لروث المواشي والمواد العضوية المتفككة وغيرها من المنتجات العضوية الثانوية الأخرى بوصفها مصدراً لمغذيات النبات ووسيلة لإصلاح التربة، فإنه من الضروري أن يأخذ تصميم وتشغيل تجهيزات نشر السماد على الأرض على نحو فاعل تلك التحديات في الحسبان.

وقد سلط تريون وشابوت (Thirion and Chabot, 2003) الضوء على ثلاثة عوامل تحدّد جودة عملية نشر السماد على الأرض: نوع السماد الذي يُنشر، والتجهيزات المستعملة في نشره، وتشغيل التجهيزات (الإعداد والتشغيل الحقل). ونظراً إلى التنوع الكبير للمنتجات العضوية التي يمكن استعمالها سماداً، وإلى ضرورة تحقيق توزيع صحيح للسماد بمعدل نشر مضبوط، ثمة معياران يحدّدان جودة النشر وينظويان على تحدّي هندسي كبير.

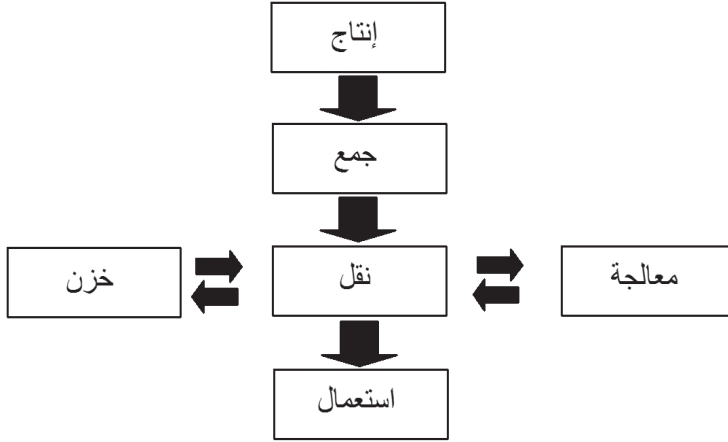
3- مكننة نشر الروث على الأرض الزراعية

1.3 وظائف منظومات نشر الأسمدة العضوية

يمثّل نشر السماد على الأرض جزءاً من منظومة إدارة المنتجات العضوية الثانوية، وفقاً للمبيّن في الشكل 1. ويمكن لعدد من العوامل أن يؤثّر في وظائف المنظومة، ويمكن لمحتوياتها أن تكون مجموعة من المنظومات أو التجهيزات. وفي الحالة الخاصة بروث المواشي، يتأثّر إنتاجه بالتكاثر، وطريقة ونوع العلف، والظروف البيئية. ومن الاستعمالات النهائية لذلك الروث توليد الطاقة أو تدوير المغذيات من خلال نشره على الأرض. إنه لمن الضروري في هذه المرحلة ملاحظة أن منظومة النشر هي جزء من منظومة إدارة الروث، ولذا تتأثّر بخصائصها وأدائها. ومن الضروري أيضاً معرفة أن ليس جميع منظومات إدارة الروث تتضمن كل الوظائف المبيّنة في الشكل 1. على سبيل المثال، في المنظومة التي تُربّى فيها الماشية في مرابط خارج الحظائر، يمكن ألا تكون ثمة حاجة إلى عملية جمع الروث. وبالمثل، قد لا تكون ثمة حاجة إلى عملية المعالجة (فصل، وتخفيف، وتخمير). ويمكن لمهام مشابهة أن تقترن بإنتاج أسمدة عضوية أخرى (وحول صرف صحي منزلي أو صناعي، مثلاً).

وتُخزن الأسمدة العضوية عادةً مُدداً مختلفاً بين إنتاجها ونشرها، بقطع النظر

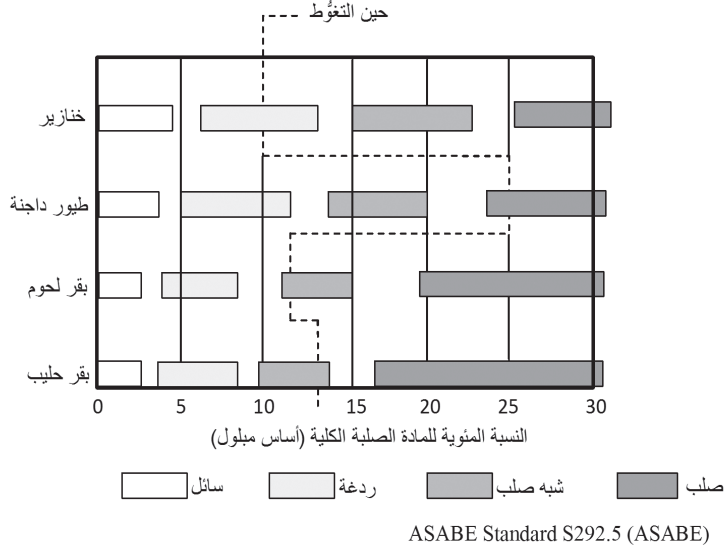
عن منشئها. لذا يجب أن تقوم منظومة النشر على الأرض بوظيفتين رئيسيتين: (1) نقل المُنتَج من موقع التخزين إلى موقع الاستعمال، (2) ونشره على الأرض. ويمكن تقسيم هاتين الوظيفتين الرئيسيتين إلى عدة وظائف جزئية. ويجدّد تعريف تلك الوظائف الجزئية خصائص منظومة النشر. ويفرض نوع الروث موضوع الاهتمام أيضاً مواصفات منظومة النشر.



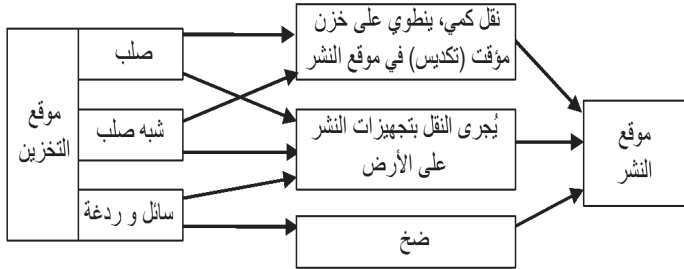
الشكل 1: وظائف منظومة إدارة الروث.

ويُري الشكل 2 خصائص التعامل بروث الحيوانات تبعاً لمصدره. ووفقاً للتعريف المعياري المقترح من الجمعية الأميركية للمهندسين الزراعيين والحيويين (ASABE (American Society of Agricultural and Biological Engineers) (2007)، يحتوي الروث شبه الصلب على مادة صلبة بحيث يمكن تكويمه، إلا أن هيئته تبقى أقل تماسكاً من هيئة الروث الصلب، ويمكن أن تتجمّع رشاحة منه في الخارج حوله. ويمكن أن يُضخّ بواسطة مضخة دافعة، أو أن يُتداول بواسطة محمّل ذي خفّاقة أمامية. أما الروث الصلب، فمحتواه من المادة الصلبة يجعله يتكوّم مع رُشاحة قليلة أو دون رُشاحة، وأفضل وسيلة لتداوله هي المحمّل ذو الخفّاقة الأمامية. وأما الروث السائل، فيمكن ضخّه بسهولة، وهو لا يحتوي على مادة ليفية. وتُعرّف جمعية ASABE الروث السائل بأنه ملاط أو رذغة. ويمكن تصنيف الأسمدة العضوية الأخرى (مواد عضوية مخمرة، ووحول صرف صحي منزلي أو صناعي، ومنتجات ثانوية عضوية من صناعات مختلفة... إلخ) تبعاً لنفس المعيار. ويُري الشكل 3 وظيفة نقل الروث في منظومة النشر. يجب الانتباه إلى أنه برغم أن

تعريف الروث شبه الصلب من قبل جمعية ASABE ينص على إمكانية ضخه، فإنه من غير العملي فعل ذلك في منظومة النشر على الأرض. فالاستطاعة اللازمة لنقل الروث شبه السائل مسافات واقعية على درجة كبيرة من الأهمية.



الشكل 2: مبدأ الجدار الدافع على ناشر توزيع خلفي مع خفاقة أفقية (أعلى اليسار والأسفل). الطراز MS1442H من <http://www.friesenequipment.com>، وناشر عنفي جانبي التوزيع (أعلى اليمين، من: <http://www.Keenanservice.com>)



الشكل 3: خفاقات عمودية المحور (المصدر: <http://www.Ktwosales.com>)

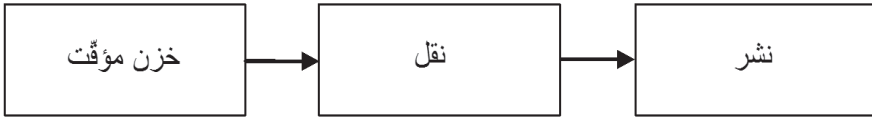
أما وظيفة المنظومة الثانية، أي نشر السماد على الأرض، فهي الوظيفة التي تقترن عادة بتجهيزات النشر نفسها. ويتعلق تعريف هذه الوظيفة (والوظائف الجزئية المتفرعة عنها) بنوع السماد المستعمل. أولاً، يجب تعريف عملية نشر السماد العضوي. فمن وجهة نظر تداول المنتج الصارمة، تتألف هذه العملية من توزيع مقدار معين من

السماد على مساحة محدّدة من الأرض. وتوزيع السماد فوق مساحة محدّدة، يتطلب تحريك تجهيزات النشر، باستثناء منظومات الري اللازمة للأسمدة العضوية السائلة.

كذلك توحى فكرة توزيع سماد على مساحة محدودة من الأرض بمفهوم توزيع السماد على عرض معين من النشر. وضم فكرة الحركة، أو الانتقال، إلى مفهوم عرض النشر يستكمل تعريف النشر على الأرض.

وباستثناء منظومات المادة السائلة التي يُضخ فيها السماد من الخزان مباشرة إلى موقع النشر (منظومة ري وخرطوم قابلة للجبر مثلاً. انظر المقطع 1.2.3)، يجب أن تحمل آلة النشر كمية معينة من المادة وتوزّعها في الموقع المحدّد للنشر. حينئذ يجب نقل المادة من منظومة خزن مؤقتة إلى منظومة التوزيع. وهذه الوظائف ملخصة في الشكل 4. ويتضمن المقطع 2.3 عرضاً مفصلاً لكيفية تحقيق هذه الوظائف الأساسية بالمنظومات المختلفة.

ولتحقيق متطلب الحركة، يمكن من حيث المبدأ النظر في جميع الخيارات المعتادة في الآلات الزراعية. فالناشر على الأرض يمكن أن يكون مجروراً أو محمولاً أو شبه محمول أو ذاتي الدفع.



الشكل 4: تمثيل بياني لوظائف معظم تجهيزات نشر السماد على الأرض.

2.3 المنظومات المتوافرة وتطورها

1.2.3 الأسمدة السائلة

وفقاً للمبيّن في الشكل 2، تحتوي الأسمدة العضوية السائلة على 5% من المادة الصلبة على أساس مبلول أو أقل، في حين أن الأسمدة العضوية شبه السائلة، أو الرديغة، يمكن أن تحتوي على ما يصل إلى نحو 10% من المادة الصلبة على أساس مبلول. وقد طوّرت فئتان واسعتان من التجهيزات لنشر هذه الأنواع من الأسمدة: منظومات صهاريج، ومنظومات متواصلة أو أنابيب. ويمكن لمنظومات الصهاريج أن تتعامل مع كل من المواد السائلة أو الرديغة، في حين أن منظومات الأنابيب تقتصر على نشر الأسمدة العضوية السائلة. يُضاف إلى ذلك أنه يمكن تحقيق النشر السطحي المبعثر للأسمدة

العضوية الرديغة باستعمال بعض أنواع النواشر المستعملة للأسمدة العضوية الصلبة (انظر المقطع 2.2.3).

1.1.2.3 منظومات الصهاريج

تشتمل منظومات الصهاريج المستعملة في نشر الأسمدة العضوية السائلة أو الرديغة على الوظائف الرئيسية المبينة في الشكل 4. وهي منظومات نقالة تُجرَّ عموماً بجرارات زراعية، ومنها أيضاً منظومات ذاتية الدفع (الشكل 5).

وتُستعمل الصهاريج المغلقة ذات المقطع العرضاني الدائري أو البيضوي، والسعات التي تختلف من 5 حتى 40 متراً مكعباً، للخنز المؤقت للأسمدة السائلة والرديغة ونقلها (الشكل 6). وثمة نوعان رئيسيان منها: العادي أو غير المضغوط (الشكل 6)، والمضغوط (الشكلان 5 و7). وتحتوي الصهاريج المضغوطة على مضخة هواء مضغوط تُستعمل للحفاظ على ضغط سالب ضمن الصهريج أثناء التحميل، وعلى ضغط موجب في أثناء التفريغ. أما الصهاريج العادية فيجب تحميلها باستعمال مضخة خارجية، ويحصل تفريغها بواسطة مضخة سوائل مبنية فيها. وفي ثمانينات القرن العشرين، طوّر لاغي (Laguë, 1991) واختبر نموذجاً أولاً لصهريج لنشر روث بقر حلوب سائل وردغي، وكان خزانه قابلاً للإمالة للسماح بالتفريغ الثقالي.



الشكل 5: صهريج ذاتي الدفع (المصدر: الكُتَيْب Challenger Terra-Gator 2244/3244).



الشكل 6: صهريج عادي (غير مضغوط) لخن ونقل الأسمدة العضوية السائلة والردغية. (المصدر: www.ptth.tnempiuquesdlorah.moc/luoh.lmth).



الشكل 7: صهريج خزن ونقل مضغوط للأسمدة العضوية السائلة والردغية. (المصدر: www.cnirezlab.moc).

ويتحقق نقل الأسمدة العضوية السائلة أو الردغية من صهريج الخزن والنقل إلى الآلة التي توزعه وتشره على الأرض بواسطة أنابيب مغلقة (الشكل 8). ووفقاً لما ذكر آنفاً، يمكن تحقيق فرق الضغط اللازم لتحريك السباد بواسطة مضخة ضغط هوائية (في الصهاريج المضغوطة) أو ميكانيكياً (في الصهاريج العادية). وإضافة إلى المضخة، تُجرى عملية التوزيع بواسطة مخرج متشعب متعدد الفوهات يُجزي المادة المتدفقة عبره بالتساوي على الفوهات المثبتة على عارضة الناشر. وثمة تصاميم متنوعة للمخرج المتعدد الفوهات، بعضها يحتوي على سكاكين دوارة لقصّ القش والجسيمات الصلبة الموجودة في الروث. وتفتح تصاميم أخرى وتُغلق فواتها تسلسلياً لضمان توزيع متساو للروث.

ويمكن للصهاريج نشر الأسمدة السائلة أو الردغية على سطح التربة، أو يمكن أن تُضمّن فيها، أو تحمّنها تحت سطحها. ويمكن تحقيق النشر المبعثر على سطح التربة بواسطة منظومات مفردة أو متعددة الفوهات (الشكل 9). تحقّق الفوهات المتعددة التي تُخرج المادة

السائلة أو الرديعية بالقرب من سطح التربة توزيعاً أكثر تجانساً، وتقلل من صدور الروائح الكريهة وتطاير النتروجين بإفراط. وتمكّن المنظومات المتعددة الفوهات، التي تتصف بإمكان ضبط الفواصل بين فوهاتها (الشكل 10)، أيضاً من النشر السطحي للأسمدة العضوية السائلة والرديعية في نطاقات محدودة (نشر السماد بعد بروز النبات المزروع في صفوف كالذرة، مثلاً). ومن الممكن أيضاً تضمين المواد السائلة أو الرديعية في التربة باستعمال أدوات التضمين الشوكية أو القرصية المختلفة (الشكل 11). وتتألف عملية التضمين من وضع الروث على سطح التربة وخلطه معها. أما نمط النشر الثالث فهو الحقن المباشر الذي توضع فيه المادة السائلة أو الرديعية تحت سطح التربة على شكل نطاقات متوازية (الشكل 12). ويتطلب الحقن المباشر وظيفة جديدة في منظومة النشر: يجب تكوين حيز كاف تحت سطح التربة لاحتواء المادة المحقونة. وقد ناقش شن وتسييه (Chen and Tessier, 2001) طريقة لتصميم أدوات حقن ملائمة لتقليل تكوين برك سطحية أثناء حقن الروث السائل.



الشكل 8: صهريج مقطور بجرار لنقل الأسمدة العضوية السائلة والرديعية.
(المصدر: www.cnirezlab.moc://ptth).



(أ) فوهة نفث واحدة



(ب) فوهات نفث متعددة

الشكل 9: نشر أرضي مبعثر لأسمدة عضوية سائلة ورديعية.
(المصدر: www.eluohj.moc://ptth).



الشكل 10: ناشر سطحي محدد في نطاقات للأسمدة العضوية السائلة والردغية.
(المصدر : <http://www.jhoule.com>).



شوكات



أقراص

الشكل 11: أدوات للنشر السطحي لأسمدة عضوية سائلة وردغية.
(المصدر <http://www.jhoule.com>).



الشكل 12: أدوات للحقن المباشر لأسمدة عضوية سائلة وردغية تحت سطح التربة.
(المصدر <http://www.joskin.com>).

2.1.2.3 منظومات النشر المتواصل

تتضمن منظومات النشر المتواصل للسماد العضوي السائل الوظيفتين الرئيسيتين الأخيرتين المبيتين في الشكل 4 فقط. نظراً إلى أنه يمكن ضخّ الأسمدة العضوية السائلة بكفاءة على مسافات تصل إلى بضعة كيلو مترات، تعتمد منظومات النشر المتواصلة على النقل المستمر للسماد العضوي السائل من موقع التخزين (خزان مرتبط تربية الماشية مثلاً) إلى موقع النشر على الأرض عبر شبكة من الأنابيب الصلبة أو الخراطيم المرنة (PAMI 1997).

يُري الشكل 13 منظومة شائعة للنشر المتواصل تتألف من أنبوب استجرار رئيسي (في مقدمة الصورة) موصول مع بكرة خرطوم تنقل الروث السائل إلى ذراع عريض (الخلفية) للنشر السطحي في نطاقات محدّدة بين صفوف نبات الذرة (Laguë et al., 1994). أو يمكن استعمال جرار يقطر خزناً لنقل السماد إلى موقع النشر، حيث يمكن استعمال منظومة نشر مستمر.

ويمكن للمنظومات المتواصلة أن تعتمد على نفس النوع من الأدوات والتجهيزات المستعملة في منظومات الصهاريج لنشر الأسمدة العضوية السائلة على سطح التربة (نشر مبعثر أو محدّد بنطاقات)، أو تضمينها في التربة، أو حقنها مباشرة تحت سطحها (الشكل 14).



الشكل 13: منظومة نشر أرضي متواصل للسماد العضوي السائل. (المصدر: Laguë et al. 1994).



(أ) نشر سطحي مبعثر بواسطة مدفع ري



(ب) نشر سطحي محدد في نطاقات
(Laguë et al. 1994).



(ج) تضمين في التربة



(د) حقن مباشر

الشكل 14: أدوات وتجهيزات مختلفة للنشر الأرضي المتواصل للأسمدة العضوية السائلة.

3.1.2.3 التحكم في معدل النشر

في أنواع منظومات نشر السماد كافة (السائل أو الصلب أو شبه الصلب)، تساوي وتيرة النشر مقدار المادة التي تُنشر في وحدة الزمن مقسومة على المساحة المغطاة بها في أثناء نفس وحدة الزمن.

وتتحدد وتيرة نشر الأسمدة العضوية السائلة أو الرديعية بالمعادلة 1.1.2.3:

$$R = 600 \frac{q}{VL} \quad (1.1.2.3)$$

حيث

R : وتيرة النشر مقدرة بـ $\text{m}^3 \text{ha}^{-1}$ ،

600: عامل تحويل مقدراً بـ $\text{km m min h}^{-1} \text{ha}^{-1}$ ،

q : وتيرة تفريغ المادة مقدرة بـ $\text{m}^3 \text{min}^{-1}$ ،

V : سرعة العمل مقدرة بـ km h^{-1} ،

L : العرض الفعال لمنظومة النشر مقدراً بـ m .

وفي حالة المادة السائلة، من السهل نسبياً قياس وتيرة التفريغ حركياً باستعمال مقياس تدفق، أو بقياس السرعة الدورانية للمضخة الحجمية. لذا يمكن حساب وتيرة النشر بناء على عرض الناشر وسرعة انتقال التجهيزات.

مثال:

1. حدّد سرعة العمل اللازمة لصهريج نشر مزوّد بمنظومة نشر سطحي مبعثر ذات فوهة واحدة وعرضها يساوي 15 متراً (ثمة حاجة إلى تراكب بنسبة 20% لتحقيق تغطية متجانسة بين الممرات المتجاورة). وقد ضُبِطت وتيرة التفريغ لتساوي $5 \text{ m}^3 \text{ min}^{-1}$ عند وتيرة نشر تساوي $40 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$.

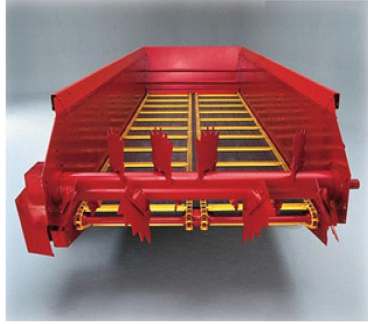
الجواب: يساوي العرض الفاعل لهذا الناشر 12 متراً: $15 \text{ m} - (0.2 \times 15 \text{ m}) = 12 \text{ m}$
بتعويض القيم في المعادلة 1.1.2.3 يمكن حساب V :

$$V = 600 \frac{q}{RL} = 600 \frac{(5)}{(40)(12)} = 6.25 \text{ km h}^{-1}$$

2. حدّد وتيرة تفريغ المادة من ناشر مستمر مزوّد بذراع نشر سطحي في نطاقات محدّدة عرضه يساوي 30 متراً (لا حاجة للترابك هنا لتحقيق تغطية متجانسة بين الممرات المتجاورة). تساوي سرعة حركة ذراع النشر 3 km h^{-1} ، وتساوي وتيرة النشر المرغوب فيه $40 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$.

الجواب: يساوي عرض الناشر في هذه المنظومة تحديداً 30 متراً. بالتعويض في المعادلة 1.1.2.3 يمكن حساب q :

$$q = \frac{VRL}{600} = \frac{(3)(40)(30)}{600} = 6 \text{ m}^3 \text{ min}^{-1}$$



الشكل 15: ناقل ذو سلسلة وقَدّة (المصدر: <http://www.newholland.com>).

2.2.3 الأسمدة الصلبة

قدمنا مفهومي الحركية وعرض نطاق النشر في المقطع 1.3. وبينّا ثلاث وظائف رئيسية لنشر الأسمدة أيضاً في الشكل 4. وتتحقّق وظيفة الخزن المؤقت في ناشر السماد

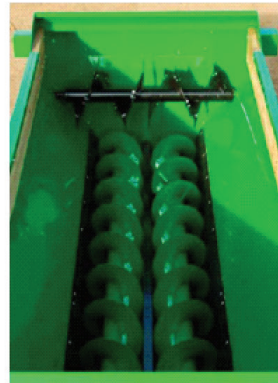
الصلب بواسطة قادوس. وتُنقل المادة من الخزان المؤقت إلى منظومة التوزيع بواسطة سير ناقل. وتحدّد خصائص كل منظومة عمل المنظومات التي تتعامل معها.

1.2.2.3 منظومة الخزن المؤقت

يمكن لقادوس الناشر المصمّم للتعامل مع الأسمدة العضوية الصلبة أن يتّخذ أشكالاً متنوّعة، إلا أن المقاطع العرضانية المستطيلة وشبه المنحرفة هي أكثرها شيوعاً. ومنظومة الخزن المؤقت بسيطة نسبياً وهي تُصمّم عادة لاستيعاب منظومتي النقل والتوزيع معاً على نحو ملائم. ومن الواضح أن الشكل الهندسي لمنظومة الخزن المؤقت يؤثر في تدفق المادة (انظر المقطع 5).

2.2.2.3 منظومة النقل

تُستعمل هذه المنظومة لنقل المادة من منظومة الخزن المؤقت إلى منظومة التوزيع. وتوجد ثلاثة أنواع رئيسية من منظومات نقل في نواشر الروث الصلب التجارية: ناقل ذو سلسلة وقِدّة (الشكل 15)، والنواقل الحلزونية (الشكل 16) ومنظومات بوابة الدفع (الشكل 17). وتُصنع نواقل السلسلة والقِدّة من سلسلتين أو ثلاث أو أربع سلاسل تربط معاً بقضبان لها شكل U أو L. أو يمكن استعمال ناقل حلزوني طولاني أو اثنين لنقل المادة إلى منظومة التوزيع. حينئذٍ ثمة حاجة إلى منظومة مؤقتة مغلقة القعر من أجل أن يعمل هذا الناقل على نحو سليم. وتُزيح منظومة البوابة المادة بدفع الجدار المقابل لمنظومة التوزيع نحوها وفقاً للمبيّن في الشكل 17.



الشكل 16: نواقل حلزونية (ناشر طراز Hill HSS 2015 في اليسار من <http://www.lkverkstad.se> وناشر جبهي MS1368 في اليمين من <http://www.friesenequipment.com>).

3.2.2.3 منظومة التوزيع

منظومة التوزيع هي المنظومة المسؤولة عن نشر السماد على سطح التربة. تُستعمل في الغالبية العظمى من نواشر السماد العضوي الصلب المتوافرة تجارياً قوة الطرد المركزي لتحقيق عرض نشر كبير. لذا تتألف منظومة النشر من مكونات دوّارة. وبعض الأسمدة العضوية الصلبة، ومنها روث بقر اللحوم على سبيل المثال، غير متجانسة، لذا صُمِّم مفعول المكونات الدوّارة بحيث تسحق الروث أيضاً. أما الخفّاقات الدوّارة فهي على الأرجح أكثر أدوات التوزيع شيوعاً في نواشر الأسمدة العضوية الصلبة المتوافرة تجارياً. ويمكن للخفّاقة أن تتخذ أشكالاً مختلفة. فهي يمكن أن تكون أسطوانية مع أسنان أو سكاكين أو شفرات محيطية. ومن أشكالها الشائعة الأخرى الحلزون ذو الشفرات المحيطية. وعندما يكون المحور الطولاني للخفّاقة أفقياً، تُستعمل وحدة منه أو اثنتين. ويمكن جمع ما بين خفّاقتين وأربع خفّاقات عمودية معاً أيضاً لتكوين منظومة توزيع (الشكل 18).



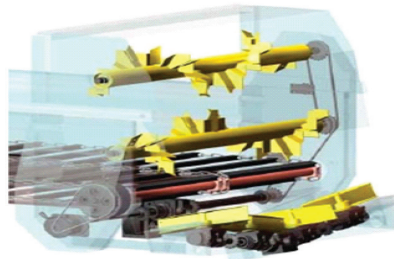
الشكل 17: مبدأ الجدار الدافع على ناشر توزيع خلفي مع خفّاقة أفقية (أعلى اليسار والأسفل. الطراز MS1442H من <http://www.friesenequipment.com>)، وناشر عنقي جانبي التوزيع (أعلى اليمين، من: <http://www.keenanservice.com>).

وفي بعض المنظومات، فُصِّلت وظيفة السحق عن وظيفة التوزيع، وذلك باستعمال منظومتين جزئيتين مختلفتين. يُرى الشكل 19 منظومة تُستعمل فيها خفّاقتان أفقيتان لطحن المادة، وتوافر ثلاثة أقراص دوّارة التوزيع على الأرض. إن الأقراص الدوّارة كثيرة الشبوع في نواشر الأسمدة، وهي تُستعمل أيضاً في تجهيزات مصمّمة للتعامل مع أنواع معينة من الأسمدة العضوية (الشكلان 16 و 19). وقوة

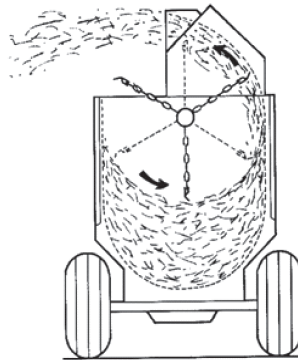
الطرد المركزي هي أيضاً المبدأ الأساسي المستعمل في النواشر ذات العنقات (أعلى يمين الشكل 17) وناشر بالتطير (الشكل 20).



الشكل 18: خفاقات عمودية المحور (المصدر: <http://www.ktwosales.co.uk>).



الشكل 19: منصة طرد مركزي ذات ثلاثة أقراص دوارة وخفاقتين أفقيتين. (المصدر: <http://www.agrostroy.cz>).



الشكل 20: ناشر بالتطير (مقتبسة من Cemagref, 1997).

ويمكن حساب وتيرة نشر الروث العضوي الصلب باستعمال حسابات مشابهة لتلك المعطاة في المقطع 3.1.2.3. لكن إحدى الصعوبات في نواشر الروث الصلب هي تقدير عرض النشر. تقع قيم معامل الاختلاف (Coefficient of Variation) في عرض نشر الروث الصلب عادة بين 30% و 110%. وقد أورد لوريمور (Lorimor, 2000) بيانات من عام 1993 تشير إلى أن معامل الاختلاف في ناشر التطير المبعثر المدوّم (Spinner) الذي يبلغ عرضه 12 متراً يساوي 50%. ويتضمن الجدول 1 القيم العظمى لمعامل الاختلاف، عرضانياً وفي اتجاه الحركة، التي حدّدها الـ (Ludhv) الأوروبي (CEN, 2002) لتقييم نواشر الروث. وسوف نقدّم في المقطع 5 في ما بعد مبادرات بحث وتطوير مختلفة تهدف إلى تحسين تجانس توزيع النواشر للروث الصلب.

الجدول 1: مواصفات المقيّس الأوروبي EN13080.

روث سائل		روث صلب		
ضمن نطاقات	مبعثر	مبعثر		
15	20	30	توزيع عرضاني	معامل الاختلاف الأعظمي (%)
	لم يُحدّد	40	توزيع طولاني	

4.2.2.3 التحكّم في معدّل النشر

يمكن تطبيق المعادلة العامة المعطاة في المقطع 3.1.2.3 على الأسمدة الصلبة. إلا أن التحكّم في jdvm نشر الأسمدة الصلبة عملياً أكثر صعوبة منه في حالة الأسمدة السائلة. وأفضل طريقة لتحقيق تحكّم دقيق هي القيام بوزن كتلة المادة الموجودة في الآلة على نحو مستمرّ. وهذا يتطلّب استعمال مجسّات بين منظومة الخزن المؤقت (القادوس) وإطار الناشر.

3.2.3 الأسمدة شبه الصلبة

اعتبر نشر الأسمدة العضوية شبه السائلة صعباً دائماً بسبب الحيز الواسع نسبياً لخواص التدفق التي تتصف بها هذه المواد. يمكن تصميم نواشر الأسمدة شبه الصلبة

اعتماداً على نفس المبادئ المستعملة في نواشر الأسمدة الصلبة. والموسطات المفتاحية لها تشتمل على منظومة خزن مؤقتة كتيمة لدرء التسرب، ومنظومة نقل تستطيع دفع مواد غير صلبة بكفاءة. وتتضمن الآلات التجارية المصممة خصيصاً للأسمدة شبه الصلبة أيضاً قادوساً له الشكل V لتحقيق تدفق جيد باتجاه نواقل التفريغ. وغالباً ما تُستعمل نواقل حلزونية لهذه المواد لأن مساحة السطح المستعملة فيها لتحقيق إزاحة موجبة كبيرة ولأنها تسمح بدفع المواد التي لا تتحرك بمقادير كبيرة. واستُعملت نواقل السيور بنجاح أيضاً لنشر المواد اللدنة اللزجة. وتوجد بوابة قابلة للضبط في نهاية منظومة التوزيع تتألف عادة من أقراص دوّارة. ومن المعروف أن خصائص انسياب أنواع معينة من المواد شبه الصلبة، مثل وحل الصرف الصحي، تتغير مع مرور الزمن وتعتمد على ظروف التخزين. لذا يجب ضبط موقع الأقراص الدوّارة لتتوافق مع لزوجة المادة، فقد وُجد أن التوزيع يعتمد على الموقع الذي يصبح فيه الوحل على تماس مع القرص الدوّار (Thirion and Chabot, 2003). إن نشر المواد شبه الصلبة يتطلب عناية إضافية من حيث انتقاء التجهيزات التي هي أكثر ملاءمة، إضافة إلى ضبطها جيداً بحيث تتوافق مع خصائص المادة.

4- المفاعيل البيئية

يُعتبر روث الحيوانات وغيره من الأسمدة العضوية بديلاً ممتازاً وقيماً للأسمدة التجارية. وبضم استعمال الأسمدة العضوية إلى إجراءات الإدارة الجيدة، يمكن للمنتجين الزراعيين تقليص تكاليف الإنتاج، وفي نفس الوقت تحسين مردود المحاصيل وجودة التربة. وبوجود الإدارة الجيدة، يمكن لنشر السماد على التربة أن يمثل طريقة جيدة بيئياً لتدوير الأسمدة العضوية. إلا أن حصر الاهتمام في تدوير مغذيات من مواد زراعية فائضة يمكن أن يؤدي إلى ظهور تأثيرات من مكونات أخرى، منها العوامل الجرثومية المُمرضة، والمعادن الثقيلة، وإلى صرف الانتباه عن مصادر الروائح الكريهة (Wang et al., 2004). لذا يجب العمل على تجنب التغذية المفرطة التي يمكن أن تنطوي على مفاعيل بيئية سلبية في التربة والماء والهواء المحيطة بالموقع. وبغية درء المخاطر البيئية، فإن أكثر العوامل التي يجب النظر فيها أهمية هي توقيت نشر الأسمدة العضوية ووتيرته. فمطابقة الوتائر مع متطلبات التربة والمحصول، ونشر المغذيات في الأوقات التي يستعملها المحصول أفضل استعمال، يقلص جذرياً مخاطر تراكمها، ومخاطر تسرب وإصدار الغازات المفرط. ومن الاعتبارات الأخرى التي تُسهم في الخطر البيئي الناجم عن نشر السماد العضوي

نوعه وطريقة نشره وحالة التربة والطقس ونوع المحصول حين النشر. والمقاطع الآتية تناقش هذه الاعتبارات من حيث مفاعيلها في جودة التربة والماء والهواء المحيطة بموقع النشر.

1.4 المفاعيل في التربة

تُعزّز إضافة الروث والأسمدة العضوية إلى التربة تكوّن تكتّلات فيها أكثر استقراراً بسبب زيادة نسبة المادة العضوية فيها. وتقلّص التكتّلات التي هي أكثر استقراراً الضياعات الناجمة عن تعرية الرياح والماء، وتحسّن تهوية التربة والمقدرة على الاحتفاظ بالماء. وقد تبيّن أيضاً أن الأسمدة العضوية تقلّل من كثافة التربة الحجمية (Bulk Density) وصلابتها مع الزمن. وتلك مزايا تؤدي إلى زيادة المردود، وإلى تحسّن جودة التربة وبنيتها أيضاً، إضافة إلى زيادة مقدرتها على مبادلة الشحنات التي تحسّن من مقدرة التربة على ترشيح المغذّيات المنحلة في الماء، وهذا هدف مهم وبعيد المدى للمنتجين الزراعيين.

وحين مقارنة مفاعيل الأسمدة العضوية بمفاعيل نشر الأسمدة المعدنية، اكتشف الباحثون أن نشر السماد العضوي قد أدّى إلى ازدياد كربون التربة العضوي، وازدياد مقدرة التربة على فصل الكربون (Ding et al., 2007). ورصدت كل الدراسات تقريباً، التي تقارن حالة نشر الروث بحالة عدم نشره، مستويات زائدة من الكربون العضوي والنروجين الكلي في طبقة التربة العليا (Kingery et al., 1994). وإضافة إلى زيادة مستويات المغذّيات في التربة، كانت معدّلات معدّنة وتحوّل الكربون والنروجين أعلى عموماً في التربة التي أُضيفت إليها أسمدة عضوية من تلك التي نُشرت فيها أسمدة معدنية (Flavel and Murphy, 2006; Ding et al., 2007)، وهذا ما أدّى إلى بيئة أفضل لنمو النبات.

ويمكّن استعمال الأسمدة التجارية بنشر أكثر دقّة للمغذّيات، إلا أن الأسمدة العضوية توافر مزية المغذّيات «البطيئة التحرّر». فالمغذّيات في المواد العضوية موجودة بكل من الصيغتين العضوية وغير العضوية. والصيغ غير العضوية تكون عادةً فورية التوفّر للنبات، في حين أن الصيغ العضوية تتحلّل مع مرور الزمن وتتوافر للنبات على مدى مدة تصل حتى 3 سنوات بعد النشر، وهذا ما يمكّن من تقليص

معدلات الأسمدة المتّمة طوال عدة سنوات بعد نشر المادة العضوية. وإلى جانب توفير مصدر كربون مباشر لمتعضّيات التربة، يوفّر الإصلاح العضوي مصدر كربون غير مباشر من خلال تزايد نمو النبات وبقاياها (Bunemann et al., 2006). وفي النهاية، تساعد الأسمدة العضوية التربة على توفير بيئة أفضل لنمو النبات، وهذه آثار تدوم مدة أطول من مدة دوامها في حالة استعمال الأسمدة التجارية.

طبعاً، ثمة بعض الاحتياطات الواجب الانتباه إليها حين استعمال المحسّنات العضوية. فنسبة المغذّيات في الأسمدة العضوية شديدة التباين، وهي ذات تراكيز منخفضة نسبياً. وأكثر من ذلك، إن الأسمدة العضوية غير متجانسة، وهذا ما يجعل نشر المغذّيات بتجانسٍ عبر الحقل غير ممكن. يُضاف إلى ذلك أن بعض المواد العضوية تُعامل بوصفها فضلات، وتُنشر في الحقل بغية التخلص منها، وهذا ما قد يؤدي إلى معدّل نشر يتجاوز كثيراً متطلّبات النبات من التغذية. فإذا لم يستهلك النبات المغذّيات المنشورة على التربة، تراكمت فيها تحت منطقة الجذور، أو حملها الماء الجاري معه. وقد أوردت دراسات عديدة تقارير عن نسب مرتفعة من الفوسفور والبوتاسيوم والكالسيوم والمغنيزيوم في الطبقة العليا من التربة بعد نشر متكرر طويل الأجل لروث الحيوانات (Kingery et al., 1994; Wang et al., 2004). ويمكن أيضاً لتراكم المعادن الثقيلة في التربة، نتيجة استعمال بعض المواد العضوية، مثل المواد الحيوية الصلبة أو نواتج احتراق الفحم الحجري الثانوية، أن يكون مصدراً للقلق (Shumann and Summer, 2004). ويمكن لتراكم المغذّيات والمعادن الثقيلة في التربة أن يؤدي إلى تسمّم النبات، وإلى تسرّبها بوصفها ملوّثات لمصادر المياه بجوار موقع النشر. وفي الواقع، اقترح كنغري (Kingery et al., 1994) أن النشر الطويل الأجل لروث الدواجن بالوتائر الحالية غير الحالة الكيميائية للتربة وأوجد إمكانية لمفاعيل بيئية سيئة.

إن أسهل طريقة لتجنّب تراكم المغذّيات والمعادن الثقيلة في التربة هي مطابقة وتيرة نشر المغذّيات مع متطلّبات التربة والمحصول. وبفحص تركيب المغذّيات في الروث والتربة، والتنبؤ بمتطلّبات المحصول من المغذّيات، يمكن درء الإفراط في النشر. إلا أن نسب المغذّيات في المواد العضوية ليست بنفس النسب اللازمة لمعظم المحاصيل، لذا لا مفرّ من الإسراف أو التقدير في نشر أحد المغذّيات على الأقل. في الماضي، كانت وتائر نشر الروث تُختار بحيث تلبّي احتياجات النبات من النتروجين. إلا أن ذلك غالباً ما كان يؤدي إلى إفراط في الفوسفور، ومن ثمّ إلى تراكمه في التربة

(Hooda et al., 2001 and Wang et al., 2004). وغالباً ما تؤدي معدلات النشر التي تلبى متطلبات المحصول من الفوسفور إلى نسبة منخفضة من النتروجين، وهذا ما يقتضي نشر متمم من مصدر نتروجين مركز. واستنتج أوزاي (Osei et al., 2000) أنه حين التحول من نشر فضلات قائمة على النتروجين إلى أخرى قائمة على الفوسفور، فإن وتائر النشر يمكن أن تقلص كثيراً تراكم الفوسفور بتكلفة منخفضة للمنتجين. حتى إنه يمكن تحقيق تقليص أكبر في نشر الفوسفور بالتفكك والتحول الحيويين للمادة العضوية ضمن ظروف تهوية متحكم فيها قبل النشر، إلا أن عملية التفكك هذه ترتب على المنتجين تكلفة أعلى (Osei et al., 2000).

ويمكن لطريقة النشر أيضاً أن تؤثر في مفعول الأسمدة العضوية في جودة التربة. فتضمين الروث في التربة أو نشره تحت سطحها يخلق اضطراباً فيها يمكن أن يكون مفيداً أو ضاراً تبعاً لحالتها. ووفقاً لما ذكر آنفاً، يكون تركيز المغذيات في الأسمدة العضوية منخفضاً نسبياً، ولذا يجب نشر كمية كبيرة من الروث لتحقيق الاحتياجات من المغذيات. هذا يعني أن نشر المواد العضوية تحت السطح يتطلب خطأً جيداً للتربة من أجل استيعاب كمية كبيرة من المادة. والحراثة المقلصة مفضلة لأنواع التربة المعرضة لمخاطر التعرية الناجمة عن الرياح والماء، وعندئذٍ قد لا يوصى بنشر الأسمدة العضوية اللامتجانسة تحت السطح في حالات معينة. من ناحية أخرى، يمكن لحقن الأسمدة العضوية أو تضمينها في التربة أن يكون مفيداً لأغراض استصلاحها من خلال تقليل كتامة التربة العليا وكثافتها الشديدة. يُضاف إلى ذلك أن النشر تحت السطح يؤدي إلى استبدال المغذيات، وقد ذكر شين (Chen et al., 2001) زيادة في المردود ناجمة عن حقن روث سائل، لأن المغذيات الموجودة في الروث كانت متوافرة للنبات على نحو أكثر سهولة. أخيراً يمكن لدرجة اضطراب التربة أن تؤثر في مقاسات واتجاهات المسامات الكبيرة في التربة السطحية، ومن ثم في مقدرة الماء على الانسياب عبرها. وهذا يقود إلى مناقشة المفاعيل البيئية لنشر الأسمدة العضوية التي تظهر في جودة الماء.

2.4 المفاعيل في الماء

يمكن لتراكم المغذيات في التربة أن يكون ساماً أو مؤذياً للنباتات، إلا أن الخطر الأكبر هو إمكان تسربها إلى الماء وتلويثه. إن رشح النترات، وتراكم الفوسفور، وفرط

المغذيات في الماء السطحي، والعوامل المُمرضة والجراثيم التي تلوث المياه الجوفية هي جميعاً من نتائج إدارة الروث وإجراءات نشره السيئة. وبمثل تلوث الماء مهدداً حقيقياً لصحة الإنسان والحيوان. لذا فإن مطابقة وتائر النشر وتوقيته مع متطلبات التربة والمحصول حاسمة في تقليص المخاطر البيئية. ومن الاعتبارات الهامة الأخرى التي تؤثر في تلوث الماء بعد نشر الأسمدة العضوية الفواصل الزمنية بين عمليات النشر والفصول والمتساقطات وحالة التربة وتضاريس الأرض وطريقة النشر.

يؤدي توقيت النشر دوراً كبيراً في حماية جودة الماء حين استعمال الأسمدة العضوية. إذا نُشرت المغذيات في أواخر الربيع أو في الصيف عندما يستهلكها النبات سريعاً، فإن ثمة فرصة ضئيلة لارتشاحها أو تسربها. أما نشر الأسمدة شتاء على تربة متجمدة، فهو خطر لأن المغذيات تبقى على سطح التربة حتى الذوبان الربيعي، وعندئذ يمكن لسيول الينابيع أن تحمل معها جزءاً كبيراً من المغذيات إلى تجمعات المياه المجاورة. ويمثل نشر الأسمدة على التربة قبل مطر غزير أو بعده فوراً خطراً من حيث تلويث الماء أيضاً. فحين النشر بعد هطل المطر على تربة عليا مشبعة بالماء، يكون رشح المغذيات بطيئاً، وهذا ما يزيد من إمكان حدوث السيول. وهطل المطر بعد نشر السباد يمكن أن يشطف المغذيات من على السطح، أو يدفعها إلى ما تحت منطقة الجذور مؤدياً إلى إمكان حصول تلوث جرثومي (Joy et al., 1998). واقترح سميث (Smith et al., 2007) أنه يمكن للأسمدة العضوية أن تكون أكثر استدامة بيئياً من الأسمدة اللاعضوية إذا لم تحصل سيول سريعاً بعد النشر.

من الواضح أن مقدار الملوثات التي يمكن أن ترشح أو تسيل يتعلق بوتيرة نشر السباد. وفي بعض المناطق، من الشائع كثيراً مضاعفة وتيرة النشر القائمة على متطلبات النتروجين مرتين أو ثلاث مرات، والقيام بذلك مرة كل سنتين أو ثلاث سنوات بدلاً من النشر سنوياً. لكن في تجربة صُوعفت فيها وتيرة النشر الموصى به لروث الدجاج، وجد فلافل ومورفي (Flavel and Murphy, 2006) مستويات مرتفعة من تراكيز النترات والفوسفات في الماء الجاري تحت السطح مقارنة بحالة وتيرة النشر الموصى به لروث الدجاج والأسمدة التجارية. ورأى جوي (Joy et al., 1998) أن وتائر النشر المفرطة تؤدي إلى تلوث ملحوظ في الماء السطحي والجوفي بالجراثيم والملوثات الأخرى الموجودة في الروث. وأورد تشنكويو (Chinkuyu et al., 2002) أنه لا يوجد تأثير ملحوظ لتوتيرة نشر الروث الصلب في ماء السطح

الجاري من الأراضي المزروعة بالذرة، إلا أن هوا وآخرين (Hao et al., 2004) قالوا إن نشر مقادير زائدة من روث أي ماشية على الأرض الزراعية يمكن أن يزيد من خطر تحميل الماء السطحي بالفوسفور. واستنتج فلافل ومورفي (Flavel and Murphy, 2006) أنه يجب تقليص وتائر النشر بغية جعل ضياعات الارتشاح أصغرية في المناطق التي تكون فيها جودة الماء الجوفي مهمة.

ونمط النشر عامل مهم آخر في الحد من مخاطر تلوث الماء. وقد أورد غوبتا (Gupta et al., 1997) أن تراكيز النتروجين الكلي، والفوسفور الكلي، ونتروجين الأمونيوم، ونتروجين النترات كانت أقل في الماء الجاري المتولد من الأراضي المحروثة بالأقراص مقارنة بتلك المتولدة في أراض غير محروثة نُشر عليها روث خنزير سائل. إلا أن روتز وآخرون (Rotz et al., 2007) قالوا في دراسة محاكاة إن ضياعات النترات الراشحة ازدادت فوراً بعد تضمين التربة روث بقر حلوب. وفي دراسة أخرى، أدّى النشر السطحي المبعثر للروث إلى تراكيز جرثومية أعلى كثيراً في الماء الجاري مقارنة بحالة حقن الأسمدة التجارية (Wang et al., 2000). وعلى وجه العموم، تعتبر المواد المنشورة سطحياً أكثر عرضة للحمل بالماء الجاري (بعد هطل المطر)، ولذا قد يُنصح بالنشر تحت السطح من أجل حماية مصادر المياه السطحية. لكن الحقن بمعدلات عالية في تربة ذات ناقلية عالية للماء، أو ذات منسوب عالٍ من المياه الجوفية، قد يهدد مصادر المياه الجوفية.

ويمكن للنشر تحت سطح التربة أن يؤثر أيضاً في ناقلية التربة المائية من خلال إحداث خلل في المسامات الكبيرة الموجودة في طبقة التربة العليا (Geohring et al., 2001) فمقاس وتواصل المسامات الكبيرة يفرض نوع حركة الماء في التربة. وقد أورد جيورن (Geohring et al., 2001) أن نشر الروث مع الحراثة يُعزز الجريان المتجانس (Matrix Flow) مؤدياً إلى تقليل انتقال المغذيات وتخفيض التراكيز في مصارف الفائض. وأورد أون وغوس (Une and Goss, 2006) أن نوع الروث المنشور (الصلب أو السائل) يمكن أن يؤثر أيضاً في نوع الجريان ضمن التربة. وهما يقولان إن نشر الروث الصلب عزز الجريان المتجانس مقارنة بالجريان عبر المسامات الكبيرة، وهذا ما يزيد من تخزين الماء في التربة، ومن ثم يقلل احتمال الجريان بعيداً (Une and Goss, 2006).

ويؤدي نوع المحصول وحالة التربة حين نشر السماد دوراً في تلوث الماء أيضاً.

فمحاصيل نباتات التغطية (Cover Crops) والتربة المشبعة يمكن أن تمنع الارتشاح الفوري للمغذيات من الأسمدة العضوية، جاعلة الماء يجري على الأرض المعرضة للأمطار. وفي المناطق ذات معدّل هطل الأمطار السنوي العالي، يمكن للجوء إلى إجراءات مثل إنشاء الأكتاف الترابية (Contouring)، والزراعة الشريطية (Strip Cropping)، والحراثة المحافظة والشرائط العازلة (Buffer Strips) والمصاطب بغية الحد من السيول. وفي بعض الحالات، قد تكون منظومات منع التسرب والانتشار الثانوية (Secondary Containment System)، وأحواض الترسيب والبرك ضرورية لتجميع مياه السيول (Gilley et al., 2002). ومن خلال الإدارة الصحيحة، يمكن للروث أن يكون مصدراً ثميناً للمغذيات ومتممات التربة من دون أن يكون مصدراً للقلق البيئي (Gilley et al., 2002).

3.4 المفاعيل في الهواء

ليست لمفاعيل السماد الزراعي في جودة الهواء نفس العواقب على صحة الإنسان التي تنطوي عليها مفاعيله في جودة الماء، إلا أن إصدارات الأمونيا والروائح الكريهة من نشر الروث تُعتبر مصدراً لإزعاج للجوار، ويمكن أن تؤثر في استدامة الزراعة. وتمثّل انبعاثات غازات الدفيئة مصدراً للقلق أيضاً، لأن نشر الأسمدة على التربة الزراعية هو واحد من المصادر الرئيسية لإصدارات الأكاسيد النتروجينية (Banham and Haugen-Kozyra, 2004). أما نشر السماد تحت سطح التربة فيمكن أن يقلّل من بعض الإصدارات الضارة، إلا أنه يتطلب طاقة أكثر، وقد لا يكون استعماله ممكناً مع كل المتممات العضوية، وقد يعزّز توليد أنواع مختلفة أخرى من الغازات. ومن العوامل التي تؤثر في الانبعاثات الغازية من الأسمدة العضوية المنشورة على التربة وتيرة النشر وحالات التربة والطقس ونوع مادة السماد.

يولّد نشر الأسمدة العضوية على الأرض روائح كريهة، ويؤدي إلى انبعاثات أمونيا عالية التركيز في فترات قصيرة نسبياً. وفي معظم الحالات، تعود مستويات الروائح الكريهة الصادرة عن الأسمدة العضوية، إلى قيمها المعتادة في غضون يوم أو يومين من النشر. إلا أن انبعاثات غازات الدفيئة من التربة، التي نُشرت عليها أسمدة عضوية، يمكن أن تبقى عالية عدة سنوات بعد النشر، تبعاً لحالة التربة وهطل الأمطار. وقد لاحظ جنتنغ (Ginting et al., 2003) أن الانبعاثات القوية لغازات الدفيئة لا تهدّد بتغيير المناخ فحسب، بل تمثّل خطراً متزايداً أيضاً على نضوب كربون

ونتروجين التربة. وعلى المدى البعيد، يمكن لهذا أن يؤدي إلى تدهور حالة التربة التي حُسنّت سابقاً بنشر الروث (Ginting et al., 2003). وفي حين أن شرلوك وآخرين (Sherlock et al., 2002) قد لاحظوا انبعاثات مرتفعة للأكاسيد النتروجينية على مدى فترة وصلت حتى 90 يوماً بعد نشر روث الخنازير الوحلي، مقارنة بالأرض غير المسمّدة، لم يجد جنتنغ (Ginting et al., 2003) آثاراً متبقية على انبعاثات غازات الدفيئة من نشر روث صلب ومواد عضوية متفكّكة طوال مدة وصلت إلى أربع سنوات بعد النشر، مقارنة بحالة نشر الأسمدة التركيبية وأراضي المقارنة. لذا تختلف انبعاثات غازات الدفيئة من الأسمدة العضوية تبعاً لنوع الروث، لكن حين مقارنتها بالانبعاثات من أرض نُشرت عليها أسمدة تجارية، فإن الفرق طفيف.

إن نشر الأسمدة العضوية تحت سطح التربة بالحقن أو التضمين هو أكثر طريقة فعالية في تقليص انبعاثات الأمونيا والروائح الكريهة. فكلما كانت مساحة التماس بين الروث والهواء أقل، انخفضت معدلات التطاير. ويتأثر تطاير النتروجين أيضاً بتركيز النتروجين الأمونيومي وهطل المطر ودرجة حرارة الجو المحيط والمؤشر الحمضي pH للروث ونسبة الماء في الروث ووتيرة نشره (Schoenau and Assefa, 2004). ويمكن للروث المنشور على السطح أن يفقد ما يصل إلى 75% من النتروجين الأمونيومي في التطاير في غضون سبعة أيام (Beauchamp et al., 1982 in: Schoenau and Assefa, 2004)، وأوردت دراسات عديدة معلومات عن انخفاضات كبيرة في انبعاثات الأمونيا والروائح الكريهة نتيجة لنشر الروث السائل والوحول المشتركة التخمر تحت سطح التربة (Hanna et al., 2000; Pain et al., 1991; Lau et al., 2003). ويمكن لعمق الحقن أن يؤثر أيضاً في مقدار الانبعاثات من التربة المحقونة (Rahman et al., 2004). ووجد المؤلفون أن وتيرة انبعاث الرائحة الكريهة ازداد كثيراً مع زيادة عمق الحقن، وعزوا ذلك إلى نقصان مقدار التغطية بالتربة الناجم عن الحقن الأعمق.

إلا أن دراسات عدة أشارت إلى وتيرة انبعاث عالية لغازات الدفيئة من الأسمدة العضوية المنشورة تحت سطح التربة مقارنة بحالة الأسمدة المنشورة على السطح (Wulf et al., 2002a, 2002b; Agnew et al., 2008) فظروف عدم التهوية السائدة تحت سطح التربة قد تعزز عمليات النترة وعكس النترة التي تتمثل نواتجها الثانوية بالأكاسيد النتروجينية. لذا فإن النشر السطحي للسماد يدرأ توليد انبعاثات مفرطة من الأكاسيد النتروجيني، إلا أنه يسمح بتطاير الأمونيا وإصدار الروائح الكريهة. ومن حيث مكافئات ثاني أكسيد الكربون، يمكن أن تكون الزيادة في انبعاثات الأكاسيد النتروجيني

بعد الحقن عالية بقدر الانخفاض في ضياعات الأمونيا، أو حتى يمكن أن تزيد من انبعاثات غازات الدفيئة الإجمالية (Wulf et al., 2002a).

وتؤدي وتيرة نشر مواد الاستصلاح العضوية أيضاً دوراً في مقدار الانبعاثات من الأرض المسمّدة. وفي حالة تطاير الأمونيا، ليس لوتيرة نشر الروث تأثير في نسبة ضياع الأمونيا، إلا أن المقدار الضائع الكلي يزداد مع ازدياد عدد مرات النشر. (Hoff et al., 2004) (Rahman et al., 2004) in: Schoenau and Assefa, 1981. ووجد رحمان (Rahman et al., 2004) أن انبعاث الروائح الكريهة من حقن الروث لم يتغيّر مع وتيرة النشر. وتوحي بيانات غير منشورة (Agnew et al., 2008) بأن انبعاثات غازات الدفيئة الكلية الناجمة عن وتائر النشر الموصى بها زراعياً (Agronomic Application Rate) لنشر الروث السائل أو الصلب لم تكن مختلفة كثيراً عن الانبعاثات من تربة غير مسمّدة. لكن مضاعفة وتيرة النشر الموصى به مرتين أو ثلاث مرات زاد من انبعاثات غازات الدفيئة كثيراً. وتوحي نفس البيانات أن أنواع السماد العضوي المختلفة (السائلة والصلبة) تنطوي على إمكانات مختلفة للانبعاثات الكلية. وعلى وجه العموم، أدّى نشر الروث السائل إلى انبعاثات للروائح الكريهة وغازات الدفيئة أعلى من تلك الناجمة عن نشر الروث الصلب (Agnew et al., 2008).

إن نشر الروث على التربة يُسهم في جزء كبير من الانبعاثات الناجمة عن تربية المواشي، ويؤدي إلى تأثيرات حيوية وكيميائية متبادلة معقدة بين التربة والماء والهواء. وقياس نسبة المغذيات الفعلية في الروث، ونشره بوتائر تطابق احتياجات منظومات التربة والمحصول من المغذيات، هو مفتاح تصغير المخاطر البيئية. والتجهيزات الملائمة المكيفة مع الخصائص الفيزيائية لمواد الروث، وذات المقدرة على التحكم الدقيق بمقدار الروث المنشور وتوزيعه، ضرورية لتحقيق هذه الأهداف.

5- التطورات الأخيرة والتوجّهات المستقبلية

1.5 تصميم النواشر

قدّم لاغي (Laguë, 1991) دراسة لتصميم وتقييم ناشر أرض لروث بقر حلوب شبه صلب. وتضمّنت الدراسة تطوير آلة قادرة على نشر وحقن روث بقري شبه صلب بوتيرة تساوي 100 طن للهكتار بسرعات العمل الحقلية من دون استعمال مضخة. وكان أحد أغراض الدراسة أيضاً جعل الاستطاعة الإضافية التي تحتاج إليها منظومة الحقن أصغر، ولذا اقترحت خزاناً محمولاً على مقطورة لهذه

الغاية. ومن أجل المحافظة على وتيرة تدفق متجانس للروث داخل خراطيم الحاقن في أثناء التفريغ، بُني الخزان، الذي تبلغ سعته 15.3 متراً مكعباً، بحيث تُمكن إمالة مقدّمته بغيّة تفريغه. وُثِّبَت أنبوب متشعّب هزاز عند طرف التفريغ من الخزان ليتلقّى الروث المتدفّق منه وتوزيعه على الحواقن الأربعة. وصُمِّمت منظومة الحقن بحيث تبقى الخراطيم الواصلة بين الأنبوب المتشعّب والحواقن قائمة حين تشغيل المنظومة. ومن أجل النشر السطحي، أُزيلت الحواقن وخراطيمها ورُكِّبت حوارف تحت فتحات خرج الأنبوب المتشعّب. وأشارت التجارب الحقلية الأولية إلى أن رفعاً مفرداً للتربة قد نتج من عملية الحقن. ووُجِدَ أيضاً أن الخراطيم المرنة لم تكن جاسئة بقدر كافٍ، ولذا حصلت أحياناً انسدادات كلية أو جزئية فيها. وأُجريت اختبارات للتجانس العرضاني، وأمكن تحقيق وتأثير نشر وسطية من 112.7 حتى 264.7 طن للهيكتر في أثناء تلك الاختبارات. ولوحظ انخفاض واضح في وتيرة النشر مع نقصان محتوى الخزان في أثناء تفريغه، ووُجِدَ أن من الصعب على المشغل إمالة الخزان على نحو مستمر حينئذٍ. وبيّنت منحنيات التوزّع العرضاني التي قدّمها لاغي (Laguë, 1991) أن مقداراً أكبر من الروث قد تدفّق من المخرّجين الوسطيين. وكانت قيم معامل الاختلاف العرضاني ضمن المجال من 63.5% حتى 74.4%، وذلك نتيجة للاختلافات في وتأثير التدفق من المخارج الأربعة. ووُجِدَ أن الحقن تحت السطح للروث في تربة صلصالية قاسية يتطلب استطاعة بين 4.5 و5.5 كيلو واط للحاقن، مقارنة بحالة النشر السطحي.

ودرس لاغي (Laguë et al., 1994) إمكان استعمال ذراع عريض لنشر الروث السائل. واحتوت الذراع على منظومة ثنائية المراحل للتحكّم في وتيرة النشر. وأمكن للمتحكّم الحجمي في وتيرة التدفق تجزئة تيار الروث الوارد وتوزيعه على ستة مورّعات ثقالية. ثم جرّأت المورّعات الثقالية التيار الوارد من المتحكّم في وتيرة التدفق إلى ستة خراطيم عمودية استعملت لنشر الروث على سطح التربة. وكانت خصائص تصميم المتحكّم في وتيرة التدفق وسرعته الدورانية عوامل محدّدة لدقة المنظومة برمتها. إن هذه الدراسة تعكس أهمية الخواص الفيزيائية والجريانية للمادة في تصميم الآلة.

وصمّم غلانسي وأدمز (Glancey and Adams, 1996) ناشراً لنشر منتجات ثانوية عضوية على جوانب صفوف مزروعة بالمحصول. أولاً، كانت ثمة حاجة إلى منظومة نقل تستطيع قياس كمية المادة وتوزيعها ضمن أحزمة محدّدة. ومن الخواص

ذات الصلة بنشر المواد وتصميم الناقل، من حيث قياس كمية وتوزيع روث الدواجن، نسبة الرطوبة والكثافة الحجمية وزاوية الاستقرار ومقاس التكتلات الأعظمي ومعامل احتكاك الروث مع المواد المختلفة التي من المحتمل استعمالها في صنع الناشر. ولأغراض التصميم، اعتُبر مقاس التكتلات الأعظمي ونسبة الرطوبة الخاصتين الفيزيائيتين لروث الدواجن اللتين مثلتا المشاكل المحتملة في نقل الروث. واستنتج غلانسبي وآدمز (Glancey and Adams, 1996) أن ثمة حاجة إلى تنعيم جسيمات الروث على متن الناشر الجانبي من أجل تقليص مقاس التكتلات الأعظمي. لذا استعملت الحفّاقات الموجودة في ناشر الروث لهذا الغرض. وتضمن أول تصميم للناشر الجانبي ناقلاً وحيداً مع أنابيب إسقاط. وبعد إجراء اختبارات لتحديد وتيرة التدفق عبر خرطوم الإسقاط، -الذي يتأثر بقطر الثقب ومعدّل النقل وسرعة دوران الناقل ومقاسات تكتلات الروث-، تبين أن السير الناقل ليس قابلاً للتحقيق. فخواص جريان المادة لم تسمح بقياس ونقل مُرضيين باستعمال سير ناقل واحد. وتضمن المفهوم النهائي استعمال سير ناقل منفرد لكل نقطة إسقاط. وباستعمال نطاقات القيم التي قدّمها غلانسبي وآدمز (Glancey and Hoffman, 1996)، بدرس تأثير خواص الروث الفيزيائية في مقاس السير الناقل والاستطاعة اللازمة لتحريكه. واستنتج أن الاستطاعة اللازمة لوحدة الطول من السير الناقل تتأثر بالكثافة الحجمية للروث على الأغلب. وباستعمال موسطات تصميم السير الناقل المحسوبة، صُمّمت أداة للنشر الجانبي على صفوف المحصول عرضها 0.762 متراً، وصُنعت خصيصاً للناشر ذي الحفّاقات من الطراز Holland 155. وبهذا التصميم، جرى توجيه الروث المطحون الخارج من الحفّاقات إلى مجموعة نواقل موازية لاتجاه الانتقال، ثم أسقط على مجموعة ثانية من النواقل المتعامدة مع اتجاه الانتقال. ووزّعت النواقل الأخيرة المادة وأسقطتها بين صفوف المحصول. وبيّن الاختبار الحقلّي أن الناشر الجانبي نشر الروث بين صفوف المحصول بتجانس معقول. وكان معامل الاختلاف على عرض الناشر 19% لوتيرة نشر تساوي 27 كيلو غراماً من النتروجين للهيكتار، و15% لوتيرة نشر تساوي 105 كيلو غراماً من النتروجين للهيكتار.

وطوّر كاليبان (Khalilian et al., 2002) منظومة حقن لسهاد صلب من فضلات الصرف الصحي. وقد صُمّمت التجهيزات لنشر السهاد تحت صف البذور على عمق كافٍ ووضعه ضمن طبقة مرصوفة تحت التربة. وتمثّلت منصة التجهيزات

بحاقن تحت التربة ألحق به قادوس بعد تكييفه معه. وثُبتت سير نقل في القادوس لتحريك السباد. ويتدفق السباد في الآلة من القادوس تحت بوابة عمودية للتحكم في التدفق ويسقط ثقلياً إلى قسم انتقالي حيث يُدفع عبر أنبوي إسقاط. ويفتح ساقا الآلة شقاً في التربة يسقط السباد فيه. وتسحب أقراصاً مثبتة خلف أنبوي الإسقاط التربة لطمر الشق. ويمكن ضبط وتيرة النشر بتعديل سرعة سير النقل وارتفاع بوابة التحكم في التدفق. وكانت وتائر النشر الفعلية للآلة، التي تقع ضمن حيز من 4 حتى 24 طن للهكتار، متوافقة تماماً مع الوتائر المرجوة ضمن معامل توافق يساوي 0.985.

وطور بيزي وروندي (Pezzi and Rondelli, 2002) واختبرا نموذجاً أولياً لناشر لروث الدواجن. وتألّف ذلك النموذج الأولي من قادوس خماسي مع خلّاط دوّار في الجزء العلوي، وبريئة تفريغ في الأسفل. وتدفع البريئة المادة إلى مخرج دائري يمكن فتحه أو إغلاقه بغية قياس التدفق. ووضعت منظومة توزيع، مؤلفة من قرصين دوّارين كل منهما مزوّد بأربع شفرات وموقعاهما قابلان للضبط طولانياً، تحت المخرج. ورُكّب حجاب قابل للضبط على حامل القرصين، ودوره هو تمكين الآلة من القيام بالنشر المبعثر أو ضمن نطاقات محدّدة. وكان الغرض من برنامج الاختبار تحديد الضبط الميكانيكي المناسب لنشر روث دواجن ذي مستويات من الرطوبة تختلف من 29% حتى 48%، وكثافات حجمية من 220 حتى 443 كيلو غرام للمتر المكعب، ومعامل احتكاك سكوني على فولاذ غير مطلي من 0.63 حتى 0.91. وجرى أيضاً قياس توزّع مقاسات جسيمات العينات. واستنتج المؤلفان أن ضبط سرعة القرص الدورانية قد عدّل أنماط التوزيع، وحسّنت زيادة السرعة من عرض القذف وعرض النشر الفاعل. وكان لنقطة دخول المادة إلى القرصين أيضاً تأثير في أنماط التوزيع، إلا أنها لم تؤثر في عرض القذف. وفي النشر في أحزمة محدّدة، تحقّقت أفضل النتائج حينما تصادفت نقطة الدخول مع مركز القرصين، في حين أن نتائج نشر مبعثر أفضل تحقّقت عندما ابتعدت نقطة الدخول عن المركز. وسلّط المؤلفان الضوء أيضاً على تأثير مقاسات الجسيمات في أداء الناشر.

وفي مسعى لتزويد المزارعين بآلة جيدة لنشر سباد ومخلفات أرض المزرعة المخمرة (Farm Yard Manure and Compost)، طوّر بلساري (Balsari et al., 2002) ناشرًا يتألّف من تجهيزيّ نشر قابلتين للمبادلة في ما بينهما، مع منظومة للتحكم الآلي في وتيرة النشر. وألحقت وحدتا النشر في مؤخّرة قادوس كبير السعة

(13.7 متراً مكعباً). واستُعملت خفّاقتان كبيرتان عموديتان لنشر سهاد مخلفات المزرعة المخمرة، في حين أن نشر السهاد على الأرض تحقّق بواسطة خفّاقتين أفقيّتين تغذيّان قرصين دوّارين عبر حارف. وتضمن الناشر أيضاً لوحة متحركة مثبتة على السير الناقل لنقل كتلة المادة إلى تجهيزيّ النشر. وجرى التحكّم في وتيرة النشر باستعمال إشارات من مجسّات وزن موضوعة بين إطار قاعدة الآلة وهيكلها السفلي، مع معلومات عن سرعة الانتقال يوفّرها مجسّ سرعة. وتتحكّم المنظومة بسرعة سير ناقل هيدروليكي بحيث تتطابق مع وتيرة النشر المرغوب فيها. وأُجريت اختبارات باستعمال روث بقر حلوب مع قش فراش بكثافة تساوي نحو 620 كيلو غراماً للمتر المكعب، و25% مادة صلبة. وكانت النسبة المثوية لكتلة السهاد الصلبة المستعملة في التجارب 45%، وكان مقاس جسيماها يساوي 12 مليمتراً. ووجد أن تجانس التوزيع عرضانياً كان مقبولاً لكل من منظومتي نشر الروث ومخلفات المزرعة المخمرة، وكان معامل الاختلاف تحت 30% من أجل عرض نشر يصل إلى 13 متراً. وكانت منظومة التحكّم في وتيرة النشر قادرة على ضبط سرعة سير التفريغ الناقل بتأخير يساوي 10 ثوان تقريباً.

يُنشر روث الدواجن عادة في الحقول الزراعية باستعمال نواشر طرد مركزي (دوامة). وهذه النواشر مشابهة لتلك المستعملة للنشر المبعثر للأسمدة الحبيبية، وهي تحتوي على أقراص أفقية دوّارة. وروث دواجن خفيف وغير متجانس نسبياً، ولذا من الصعب نشره بتجانس. وتتصف أوساخ الدواجن بمادة ناعمة تأتي من الروث، ومن جسيمات متوسطة الحجم تأتي من مادة قشّ فراش الحيوان، وتكتلات أكبر مكوّنة من الروث والريش ومادة الفراش. والجزء الأكثر أهمية من المغذّيات موجود في الروث، وتختلف قيمة تلك المغذّيات باختلاف أنواع الجسيمات. وتُبدى أنواع أخرى من الروث الممزوجة مع مادة الفراش غالباً نفس تنوع المغذّيات مع اختلاف مقاسات وأنواع الجسيمات. ونظراً إلى أن الجسيمات ذات المقاسات المختلفة تتصف بخصائص هوائية حركية مختلفة، يمكن للتوزيع غير المتجانس للمغذّيات على عرض الناشر الفعال أن يكون ناجماً عن الاختلافات في نسب المغذّيات تبعاً لأنواع الجسيمات. وقد اختبر ولهويت هذه الفرضية (Wilhoit et al., 1993)، ووجد كروذر وهوفميستر (Crowther, 1958, Hoffmeister et al., 1964) أن الفوارق بين مقاسات الجسيمات تمثّل سبباً رئيسياً في فصلها أثناء نشر السهاد. وقد

جرى تحليل نواشر الطرد المركزي من ناحية خواص السهاد الفيزيائية ومسارات الجسيمات وموسطات الآلة (Patterson and Reece, 1962; Cunningham and Chao, 1967). واختُبرت موسطات الآلة المختلفة لدراسة تأثيرها في أنماط التوزيع (Reed and Wacker, 1968). وقد تأثر التجانس كثيراً بضبط شفرة القرص ونقطة سقوط السهاد عليه، وبمعدّل النشر. وبعد تقييم خصائص نشر مبعثر لأوساخ الدواجن بواسطة ناشر طرد مركزي، استنتج ولهويت وآخرون (Wilhoit et al., 1993) أن معظم الجسيمات الصغيرة (أي التي هي أصغر من فتحة المنخل رقم 12) سقطت ضمن مسافة 3.7 متراً من مركز الناشر، في حين أن الجسيمات التي هي أكبر توزعت بتجانس أكبر حتى مسافة 6.1 متراً. واستنتجوا أيضاً أن تركيز النتروجين كان متجانساً نسبياً بين مقاسات الجسيمات، في حين أن تركيز الكربون مال نحو الزيادة مع ازدياد حجم الجسيم. ومع ذلك أبدت العينات التي جُمعت من منطقة النشر تراكيز متجانسة لكل من النتروجين والكربون.

وهدفت دراسة قام بها لينغ وآخرون (Ling et al., 1996) إلى تحديد تأثير ارتفاع البوابة وسرعة السير الناقل في أداء ناشر مبعثر مدوّم لروث الدواجن. وقُيّم أداء الناشر من حيث تجانس تدفق المادة على القرصين، وانتثارها في الحقل. واستعمل ضغط محرك هيدروليكي من أجل تقدير التغيّرات في تدفق المادة التي تسقط على القرصين. وفي اختبارات النشر في الحقل، جرى تقدير معاملات الاختلاف في محاكاة لأنماط انتشار متراكبة على امتداد عرض شريط النشر عند تشكيلات مختلفة من فتحة البوابة وسرعات السير الناقل. واستنتج المؤلفون أن الاختلافات في تدفق المادة على القرصين تناقصت مع ازدياد معدّلات التدفق النظرية. ولاحظوا أيضاً أن تغيّرات تدفق المادة على القرصين عند سرعة سير ناقل ثابتة قد تناقصت مع نقصان فتحة البوابة. وعند فتحة بوابة ثابت، تناقص تدفق المادة على القرصين مع تناقص سرعة السير الناقل. وأوحت مشاهداتهم لتجانس الانتشار أن التجانس يقل مع زيادة فتحة البوابة، ويزداد مع ازدياد وتأثر التدفق النظري. أخيراً، لم يُلاحظ أي تأثير ملحوظ لفتحة البوابة وسرعة السير الناقل في تجانس النشر في اتجاه الحركة.

وفي مسعى لتصميم ناشر إسقاط لروث الدواجن، كان على ولهويت (Wilhoit et al., 1994) النظر في التأثيرات المتبادلة بين الآلة والمحصول. وكان الهدف تصميم ناشر محمول على جرار، ولذا وجب اختيار سعة القادوس وتشكيلته اعتماداً على

اعتبارات نقل الحمل. يمكن لكثافة روث الدواجن الحجمية أن تختلف كثيراً تبعاً لنسبة الرطوبة فيه، وقد اختيرت القيمة 480 kg/m^3 لتكون قيمة تصميمية. وتضمن أول تصميم تدفقاً ثقالياً مع هز للروث في الأعلى، إضافة إلى فتحة قابلة للضبط. وكان القصد من الهزاز منع الروث من التكتل في القادوس، والمساعدة على قياس تدفقه عبر الفتحة. إلا أن اختبارات أولية أظهرت أن المفهوم لم يكن ملائماً. فبوجود فتحات كبيرة، يتدفق الروث حراً من دون تأثير ملحوظ للهزاز، في حين أنه عند إغلاق الفتحة بقدر كاف بغية تقييد التدفق، منعت تكتلات الروث التدفق من القادوس كلياً. لذا جرى تعديل وحدة النشر بالإسقاط، وذلك بإغلاق الفتحة عند مؤخره القادوس وفتح أسفله وتركيب منصة مباشرة تحت الفتحة مع سلسلة تدور في حلقة حول المنصة. وجرى تحريك السلسلة هيدروليكيًا، وجرى التحكم بوتيرة النشر من خلال سرعة دوران محور المحرك الهيدروليكي. وثبت أن هذه التعديلات كانت كافية لقياس تدفق الروث الخارج من القادوس. ثم أُجريت قياسات لتحديد تأثير عمق المادة في القادوس في وتيرة النشر، وتقدير تجانس نشر الروث عرضياً وطولانياً باتجاه حركة الآلة، وفي النهاية ربط وتيرة النشر بسرعة حركة السلسلة. وبيّنت النتائج أن وتيرة النشر لم تتأثر بعمق المادة في القادوس، وأن الضبط اعتمد بدرجة رئيسية على الحجم، ومن ثم على سرعة السلسلة. وفي تلك الحالة، لم يكن ثمة تأثير واضح للعمق في القادوس حتى في حالة المواد القابلة للانضغاط. وبعد ضبط منظومة السلسلة، كان تجانس النشر جيداً في الدراسة، مع قيمة دنيا لمعامل الاختلاف تساوي 11.8% للتجانس في اتجاه حركة الآلة، و16.0% في الاتجاه العرضاني.

2.5 الاستطاعات اللازمة لتجهيزات النشر وتقييمها

في معظم المنظومات، تساوي الاستطاعة اللازمة للنشر مجموع استطاعة السير الناقل واستطاعة آلية النشر. واستطاعة السير الناقل هي تابع لنوع المادة التي يجري نشرها، وتيرة النشر ونوع السير الناقل، في حين أن الاستطاعة اللازمة لتجهيزات النشر من النوع المدوم تعتمد على السرعة وعلى تشكيلة آلية نقل الحركة ونوعها. وقد درس وهويت و لينغ (Wilhoit and Ling, 1999) الاستطاعة اللازمة لناشر يبعثر روث الدواجن ورماد الخشب. يجري تحريك سلسلة السير الناقل والقرصين الدوّارين في ناشر الاختبار على نحو منفصل بواسطة محركات هيدروليكية. وكانت

المواد المستعملة في الدراسة روث دواجن نسبة الرطوبة فيه تساوي 22.2% وكثافته الحجمية الوسطية تساوي 503 kg/m^3 ، مع رماد خشب نسبة الرطوبة فيه تساوي 59% وتساوي كثافته الحجمية الوسطية 517 kg/m^3 . وجرى تقدير استهلاك محرك التدويم باستعمال هبوط الضغط الهيدروليكي على طرفي أحد محركي القرصين وسرعة دوران القرص المقاسة. ولتقدير الاستطاعة اللازمة لمنظومة السير الناقل، استُعملت معادلات ومعاملات تصميم من جمعية السلسلة الأمريكية (American Chain Association) مع تحليل للقوى الفاعلة في كتلة متدفقة من المادة. وبيّنت النتائج أن استهلاك الطاقة من منظومة القرصين الهيدروليكيين قد ازداد حين نشر روث الدواجن وحده مع زيادة سرعة القرص وتيرة تدفق المادة. ولم يكن ثمة اختلاف ملحوظ في استهلاك منظومة القرص من الطاقة حين نشر روث الدواجن ورماد الخشب، لأن كثافتي المادتين الحجميتين كانتا متساويتين تقريباً في ظروف التجربة. وبلغ استهلاك الطاقة الأعظمي في منظومة القرصين 10.4 kW (بناءً على وتيرة التدفق المفترض في الدراسة، كانت الطاقة النوعية 816.3 J/kg) في حالة روث الدواجن، و 10.2 kW (الطاقة النوعية تساوي 941.5 J/kg) في حالة رماد الخشب. وتبيّن أن الاستطاعة اللازمة لمنظومة السير الناقل تتغيّر مع عمق المادة داخل القادوس وطوله وارتفاع البوابة وزاوية القادوس والوزن النوعي للمادة وسرعة السير الناقل والاحتكاك الداخلي للمادة والاحتكاك بين المادة والقادوس. ومن تحليل الحساسية (Sensitivity Analysis)، وُجد أن العوامل المؤثرة كثيراً في استهلاك الطاقة هي عمق المادة وطول القادوس وفتحة البوابة، في حين أن أقل العوامل تأثيراً تضمّنت ارتفاع البوابة وزاوية القادوس. وكان استهلاك السير الناقل من الطاقة أقل من استهلاك القرصين. وازداد استهلاك السير الناقل من الطاقة مع ازدياد وتيرة تدفق المادة، وكان ثمة فرق صغير بين نشر روث الدواجن ورماد الخشب. وكان استهلاك السير الناقل من الطاقة (محسوباً بناءً على وتيرة التفريغ المفترض في الدراسة) لنشر روث الدواجن ورماد الخشب متماثلين جداً (الاستطاعة العظمى تساوي 8.34 kW) (الطاقة النوعية 654.6 J/kg) في حالة خُرء الدواجن، و 8.25 kW (الطاقة النوعية 629.9 J/kg) في حالة رماد الخشب) لأن كثافتي المادتين ومعاملتي احتكاكهما متماثلة تقريباً. ودرس ولهويت ولنغ (Wilhoit and Lingm, 1996) أيضاً نشر الرماد في بيئة غابة. ولاحظوا أن تجانس النشر لم يكن مقبولاً، فقد تجاوز معامل الاختلاف

20% حتى لو كان النشر الأقل تجانساً أكثر قبولاً حين التعامل مع مواد من مثل رماد الخشب ورقائق الرماد المتطايرة. وأدّت طبيعة المواد المنشورة إلى جعل نتائج التجانس غير منسجمة من تجربة إلى أخرى. فتلك المواد ليست متجانسة من حيث المقاس أو التماسك. إن مواد الرماد عرضة للتغيرات من حيث التماسك الفيزيائي خصوصاً بسبب الفوارق في نسب الرطوبة، ويمكن أن يكون لهذه الاختلافات مفعول رئيسي في النشر. وإحدى نتائج هذه الدراسة التي توّضح هذه الحقيقة هي أنه لم يمكن نشر رماد الخشب عند سرعة منخفضة للسير الناقل حينما كانت نسبة الرطوبة 49%، بل أمكن ذلك عند نسبة تساوي 41%. وقد نُشر رماد الخشب والرماد المتطاير بتجانس معقول عند عرض نشر وصل حتى 12 متراً تقريباً. أما الناشر المستعمل فكان ناشر روث دواجن مقطوراً بجرار لشحن أشجار الغابات المقطوعة. واستنتج ولهويت ولنغ (Wilhoit and Ling, 1996) أن عروض نشر مهمة ووتائر نشر جيدة يجب أن تكون ممكنة بهذا النوع من النواشر من خلال استمثال خواص المواد وموسطات عمل الناشر.

ودرس بلنسكي وكلنوسكي (Bulinski and Klonowski, 1998) الاستطاعة اللازمة لوحداث نشر الروث. وجرى تقدير الاستطاعة اللازمة لسير تفرغ أربعة خفّاقات عمودية، عند أربعة مستويات لتعبئة القادوس، وأربع سرعات للسير. وبيّنت دراساتها أن الاستطاعة اللازمة لوحداث الناشر المدروسة تعتمد كثيراً على سرعة سير النقل على الأرض، وعلى كتلة الروث الموجود في القادوس. وأظهرت نتائجها أيضاً اختلافات كبيرة في تحميل منظومة تحريك الناشر. ووفقاً لما هو متوقّع، كانت كثافة الروث أكثر الموسطات أهمية حين تحليل احتياجات الناشر من الطاقة.

وأجرت محطة الأبحاث الاتحادية السويسرية لهندسة واقتصاد الزراعة (The Swiss Federal Research Station for Agricultural Economics and Engineering) (FAT) دراسة لمقارنة تجهيزات النشر (Bisang, 1987). وانطوت النتائج على ما مفاده أن النواشر التي تستعمل خفّاقات أفقية المحاور حقّقت عرض نشر فعالاً يساوي 2-3 متراً، في حين أن الخفّاقات العمودية المحاور مكّنت من تحقيق عرض فعال يساوي 6 أمتار تقريباً. واعتُبرت دقة التوزيع مقبولة لجميع النواشر المختبرة. ولاحظ بيزانغ (Bisang, 1987) أن آليات النشر ذات الخفّاقة الواحدة أعطت مواد أخشن، وأن الخفّاقات الحلزونية أعطت جسيمات أصغر من تلك التي تعطيتها الخفّاقات ذات الأسنان.

وتحدّث فريك (Frick et al., 2001) عن عمل قامت به المحطة السويسرية FAT لدراسة منظومات نشر مختلفة لروث حظيرة تسمين عجول ونواتج عضوية ثانوية أخرى. وتضمّنت دراستهم سبعة نواشر متوافرة تجارياً وتتألف من منظومات ميكانيكية مختلفة: (1) ناقل كاشط مع خفّاقتين أفقيّتين؛ (2) ناقل كاشط مع خفّاقتين أفقيّتين مجموعتين مع أربعة أقراص دوّارة؛ (3) ناقل كاشط مع خفّاقتين عموديّتين؛ (4) ناقل كاشط مع أربع خفّاقات عمودية؛ (5) ناقل كاشط مع أذرع نشر جانبية دوّارة متعددة؛ (6) سير ناقل مع قرصين دوّارين؛ (7) سير ناقل وقرصين دوّارين خلفين أو بريّمة نشر أمامية مع أنابيب إسقاط متعددة. واستعملت نواتج عضوية ثانوية متنوّعة أثناء الاختبارات: (a) روث حظائر تسمين عجول؛ (b) فضلات نباتية خضراء مخمرة؛ (c) وحل صرف صحي شبه جاف؛ (d) وحل صرف صحي مجفّف؛ (e) مواد جيرية من مخلفات معالجة السكر. ودُرست عدة موسطات أثناء اختبارات النشر، منها توزّع المادة عرضانياً وطولانياً، ومدى سحق الروث، والاستطاعة اللازمة للجبر، والاستطاعة اللازمة لتجهيزات النشر، والاستطاعة اللازمة لناقل التفريغ، وأخيراً الحمل المسموح به لكل آلة. وأظهرت نتائج توزيع المادة عرضانياً اعتماد هذا المتوسط على الخواص الفيزيائية للمواد، وعلى نوع تجهيزات النشر المركّبة على الآلات المختبرة. وكانت معاملات الاختلاف جيدة عموماً. وكان أداء الناشر المزوّد بأربع خفّاقات عمودية أفضل من أداء الآلات الأخرى، مع معاملات اختلاف أصغر لجميع المواد ما عدا الجير. وبيّنت اختبارات النشر الطولاني الأداء السيئ المعهود لنواشر الروث الصلب. وكان من الممكن ملاحظة تأثير بوابة التحكم في التدفق مع قيم أخفض لمعامل الاختلاف حين استعمال البوابة. وحقّقت جميع الآلات المختبرة بالروث سحقاً مقبولاً، وكانت الآلات المزوّدة بأربع خفّاقات عمودية وأذرع إسقاط دوّارة جانبية أفضلها أداء. وفي ما يخص التشغيل الحقلي للنواشر، انطوت التوصيات على أنه يجب اختيار الآلة ذات السعة الحجمية الكبيرة حين نشر مادة ذات كثافة حجمية منخفضة. ويضمن هذا الخيار إمكان تحقيق وتائر النشر المرجوّ دون تحميل الناشر بالمواد على نحو متكرر كثيراً. وبيّنت النتائج أنه يجب اختيار عرض فعال للناشر تبعاً لمسافة النشر المرغوب فيها، وسرعة العمل ووتيرة النشر المستهدفة. ولاحظ فريك (Frick et al., 2001) حين النظر في الحمل الذي تستطيع الآلات حمله أن مخاطر التحميل المفرط قد ازدادت في حالة المواد العالية الكثافة، مثل وحل

الصرف الصحي نصف الجاف أو مواد الجير. وجُزئت الاستطاعة اللازمة للنواشر إلى ثلاثة مكوّنات: استطاعة للجرّ، واستطاعة لنقل التفريغ، واستطاعة تستهلكها تجهيزات النشر. وأشارت النتائج التي حصل عليها فريك (Frick et al., 2001) إلى أن استهلاك الطاقة الوسطي قد توزّع بنسبة 57٪ لتجهيزات النشر، و38٪ للجرّ و5٪ لنقل التفريغ الذي احتاج إلى 1.5-2.0 كيلو واط. وكان أكبر استهلاك للطاقة في حالة نشر الروث. واحتاجت النواشر ذات الحفّاقات الأفقية أو العمودية إلى نحو 40 كيلو واط من الاستطاعة، في حين أن تلك ذات الأقراص الدوارة وذات آلة الإسقاط الجانبية احتاجت إلى 60 كيلو واط. ووُجد أن ثمة حاجة إلى 20 كيلو واط إضافية لضرورة للجر. وكانت استطاعة الجر المحسوبة لجرار ناشر يسير بسرعة 4 كيلو متراً في الساعة، بين 10 و20 كيلو واط. ووُجد أن استطاعة الجر تعتمد على مقاسات عجلات الناشر. وكانت استطاعة الجر النوعية الوسطية 4.2 كيلو واط للطن من الروث، و3.5 كيلو واط للطن لسهاد الفضلات المخمرة، و2.8 كيلو واط للطن من وحل الصرف الصحي نصف الجاف، و2.3 كيلو واط للطن من المواد الجيرية. ومن أجل كثافات حجمية تساوي 590 و690 و875 و1035 كيلو غرام للمتر المكعب من الروث والفضلات المخمرة والوحل نصف الجاف والمواد الجيرية، كانت هناك علاقة تناسب خطية عكسية بين استطاعة الجر النوعية والكثافة.

وكتب مالغريد ووتربيرغ (Malgeryd and Wetterberg, 1996) عن مساعي معهد اختبار الآلات القومي السويسري (Swedish National Machinery Testing Institute)، والمعهد السويسري للهندسة الزراعية (Swedish Institute of Agricultural Engineering) من أجل توفير المعرفة الضرورية لكيفية تأثير خواص الروث والوحل الفيزيائية في أداء النشر بالآلات المختلفة. وبينا أن ثمة افتقاراً إلى المعرفة العامة عن الخواص أو المتوسطات المشتقة من الخصائص الفيزيائية المهمة عملياً، وإلى كيفية قياسها. وفي حالة الروث الذي يمكن ضخه، اعتُبرت أربعة مستويات مهمة، وهي الميوعة والميل إلى الانفصال أو التكتُّل ونسبة المادة الجافة. وفي ما يخصّ الروث الذي لا يمكن ضخه، اعتُبرت خمسة مستويات هامة هي الكثافة الحجمية، والنماسك أو إمكان التكدُّس، ومقاومة السحق، وعدم التجانس ونسبة المادة الصلبة. واقترحت طرائق لقياس هذه الخواص والمتوسطات. واقترحت أيضاً طرائق اختبار لتقييم نواشر الروث. وأوحت النتائج التي حصل عليها بأنه ليس ثمة من علاقة

واضحة بين زاوية الاستقرار (Angle of Repose) الفاعلة ونسبة المادة الصلبة في حالة الروث غير القابل للضحّ، وأن الكثافة الحجمية وزاوية الاستقرار الفعالة على صلة وثيقة في ما بينهما. وأمكن تقدير زاوية الاستقرار الفعالة من الكثافة الحجمية التي هي أسهل قياساً. واستنتج أن الكثافة الحجمية وزاوية الاستقرار تؤثران، مجتمعتين أو منفردتين، بموسطات نشر مهمة، مثل التدفق المستقر وعرض النشر الفعال، وأن أنواعاً مختلفة من النواشر تتأثر بطرائق معينة تبعاً لتشكيلاتها الميكانيكية.

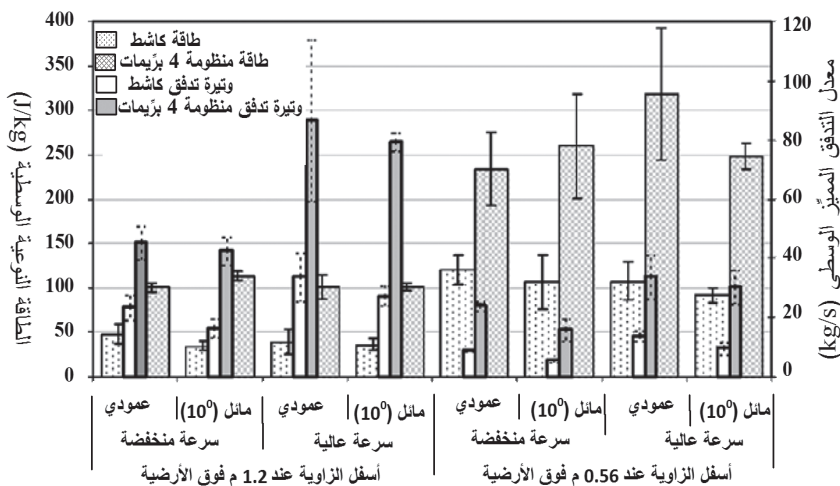
ودرس بيكو (Picaud, 2001) العلاقة بين خواص النواتج العضوية الثانوية وأداء تجهيزات نشرها على الأرض. والخواص المقاسة هي الكثافة ومقاومة الاحتراق ونسبة المادة الصلبة والمحتوى من مغذيات منتقاة. وأشار المؤلف إلى التغير المتأصل في النواتج العضوية الثانوية، وإلى محدودية عدد البيانات المجمعة نتيجة لثقل الإجراءات التجريبية، بوصفها سببين للافتقار إلى علاقات واضحة بين الموسطات المقاسة. إلا أنه يمكن اكتشاف صلة بين مقاومة الاحتراق ومعامل الاختلاف العرضاني. فقد أنتجت مقاومة الاحتراق المنخفضة معامل اختلاف عرضاني صغير. وأورد العديد من الملاحظات عن الافتقار إلى إجراءات معيارية لتوصيف الروث، وعن صعوبة تجميع كميات كبيرة من البيانات الجيدة حين التعامل مع نواتج عضوية ثانوية وآلات نشرها على الأرض.

وتحدّث تريون وشابوت (Thirion and Chabot, 2003) عن أداء عدة أنواع من التجهيزات المستعملة لنشر أنواع مختلفة من الأسمدة العضوية. واعتبرا أن انتقاء التجهيزات وتشغيلها الصحيح، من حيث خواص تدفق المواد التي سوف تُنشر وخواصها الفيزيائية، هما عاملان أساسيان يُحدّدان جودة عملية نشر المادة على الأرض.

3.5 تطوير ناشر دقيق ومنظومة نشر تحت التربة للأسمدة العضوية الصلبة

في وقت مبكر من عام 2001، أُطلق برنامج بحث في جامعة ساسكاتشوان (University of Saskatchewan) بكندا يهدف إلى تحسين التكنولوجيا المتوافرة للتعامل مع الروث الصلب وشبه الصلب ونشره على الأرض. وركّز البرنامج الاهتمام أولاً في خواص الأسمدة العضوية والكيفية التي تحدّد بها هذه الخواص التأثير المتبادل بين الأسمدة ومنظومة نشرها على الأرض (Landry et al., 2004). وبناءً على هذا التقييم المستفيض لخواص الروث الفيزيائية وخواص تدفقه، جرى تطوير ناشر روث دقيق على

الأرض. وتألّف الطور الأول من تقييم لنواقل تفرّغ مختلفة، مع تأثيراتها المتبادلة مع بوابة التحكم في التدفق، ومع الشكل الهندسي لمنظومة الخزن المؤقت. وقورنت منظومة مؤلفة من أربعة نواقل حلزونية بناقل سلسلة وقدة. ومن المتوسطات الأخرى التي استُقصيت موضع بوابة عمودية للتحكم في التدفق (المقطع العرضاني لسطح التدفق) وميل الجدران الجانبية في منظومة الخزن المؤقتة. ووُجد أن الطاقة النوعية لعملية التفرّغ في حالة منظومة النواقل الحلزونية الأربعة تساوي 184 J/kg مقارنة بـ 73 J/kg في حالة ناقل السلسلة والقدة (Landry et al., 2005).



الشكل 21: الطاقة النوعية اللازمة لمنظومة النقل التي تُفَرِّغ الناشر ووتيرة التدفق المميّز، بدلالة متوسطات العمل (قضبان الخطأ تمثل الانحراف المعياري؛ وتشير "عمودي" و"مائل" إلى الجدران الجانبية؛ وتعني السرعة المنخفضة 19 مم/ث للناقل الكاشط، و471 مم/ث لمنظومة البرّيمات الأربع؛ وتعني السرعة العالية 38 مم/ث للناقل الكاشط، و840 مم/ث للبرّيمات الأربع).

إلا أن النواقل الحلزونية كانت قادرة على تحقيق معدلات تفرّغ أعلى إضافة إلى توفيرها عملية مُجانسة المادة. وتبيّن أن هاتين السمتين مرغوب فيهما في نموذج حقلي. وتبيّن أيضاً أن تشكيلة من نواقل التفرّغ الحلزونية وبوابة التحكم في التدفق يمكن أن توافر تحكماً ملائماً في وتيرة نشر السباد.

وُدِرِس الشكل الهندسي لمنظومة الخزن المؤقت أيضاً. فقد دُرِس تدفق الخرج من ثلاثة نواشر روث تجارية تحتوي على وحدات وظيفية متشابهة، لكن بأشكال هندسية

مختلفة لمنظومة الخزن المؤقت. وقد لوحظ أن الاتساع في منطقة التسامح، المعروف بالنسبة المئوية لمدة التفريغ التي تكون فيها وتائر التدفق الآنية ضمن $\pm 15\%$ من وتيرة التدفق المميز (CEN, 2002)، يزداد عندما يزداد طول وعرض منظومة الخزن المؤقت. ووجد أن معامل اختلاف التوزع الطولاني يقل عند ازدياد طول منظومة الخزن المؤقتة. وشاهد مفعول مشابه حين زيادة عرض القادوس وحين تقليص عمقه. ولوحظ أن المواد المتماسكة تحسّن من تدفق التفريغ من حيث اتساع منطقة التسامح، ومعامل الاختلاف الطولاني، ونسبة مدة التفريغ الفعلية إلى مدة التفريغ النظرية. وقد رُبط ذلك بالمواد المتماسكة التي لا تتأثر بالتدفق الثقالي بنفس القدر كالمواد التي هي أقل تماسكاً. واستنتج فيما بعد أن أداء المنظومة ذات النواقل الأربعة كان أفضل عندما أُبقيت بوابة التحكم في التدفق العمودي منخفضة وحافتها قريبة من شفرة بريمة الناقل. هذا يعني أن مقطع التدفق العرضاني يجب أن يبقى ممثلاً ما أمكن، وأنه يمكن تغيير معدل التدفق على وجه أفضل بواسطة ناقل تفريغ متغيّر السرعة بدلاً من تغيير مقطع التدفق.

لا يُستعمل الطرد المركزي في ناشر الروث الدقيق الذي طُوّر في جامعة ساسكاتشيوان لتحقيق عرض نشر مقبول، بل ناقل توزيع عرضاني (الشكل 22) طُوّر من أجل تحقيق تجانس أفضل للتوزيع. وبالإشارة إلى الوظائف المبينة في (الشكل 4)، فإن النموذج يُحقّق المتطلبات بطريقة مشابهة لطريقة النواشر الصندوقية من أجل الخزن المؤقت ووظائف النقل. والفرق الرئيسي هو كيفية إجراء التوزيع. إن استعمال ناقل توزيع عرضاني مع تدفق ثقالي حين خروج المادة من منافذ الناقل الستة يمكن النموذج من توزيعها على عرض النشر بتجانس أفضل كثيراً.



الشكل 22: منظومة توزيع عرضاني وفتحات مع بوابات منزلفة.

ويتضمن النموذج الأولي (الشكل 23) بوابة تحكّم في التدفّق مع 4 برّيات تفرّغ طولانية يديرها محور التدوير الخلفي في الجرّار، وتغذّي برّيمة توزيع عرضاني تُدار هيدروليكيّاً. ويتضمن أنبوب برّيمة التوزيع العرضاني الذي يساوي عرضه 2743 ملّيمتراً ست فتحات تفصل بينها مسافات متساوية ومقاس كل منها 406 ملّيمتراً للنشر المبعثر الدقيق. وكل فتحة مغطاة بصفيحتين يمكن أن تنزلقا على محيط أنبوب البرّيمة. لذا من الممكن ضبط اتجاه كل فتحة ومساحتها (الشكل 22).



الشكل 23: منظر عام لنموذج أولي دقيق لناشر روث.

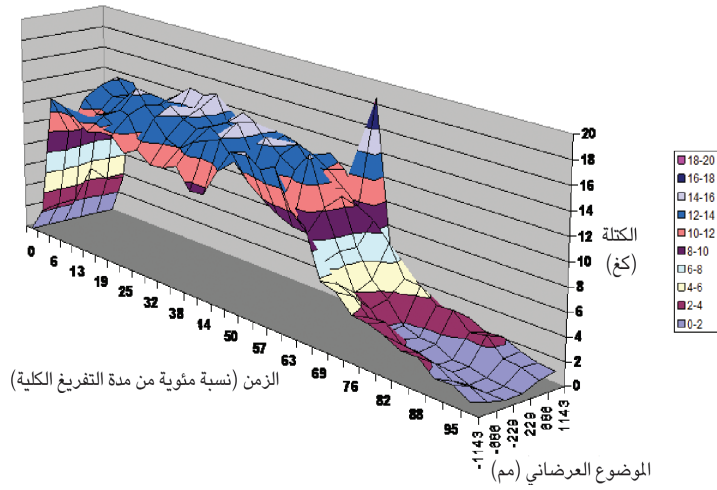
الجدول 2: نتائج اختبارات سكونية لتجانس التوزيع.

الاستطاعة الهيدروليكية العظمى	الطاقة النوعية الميكانيكية ^[b]	معامل اختلاف الكتلة الكلية ^[a]	وتيرة التفرّغ الوسطي	مدة التفرّغ	الكتلة المفرّغة الكلية	
(kW)	(J/kg)	%	(kg/s)	(s)	(kg)	
0.5	279.6	6.9	6.5	225	1455	تجربة 1
0.6	280.6	7.7	7.3	237	1732	تجربة 2
0.6	279.4	5.6	6.9	238	1633	تجربة 3

0.6	416.4	4.1	13.7	161	2199	تجربة 4
0.6	438.7	16.0	9.0	159	1438	تجربة 5
0.3	414.6	21.8	9.3	173	1614	تجربة 6

[a] معامل اختلاف الكتلة الكلية المجمعة في كل حاوية.

[b] الطاقة الميكانيكية المستهلكة في نواقل التفريغ.

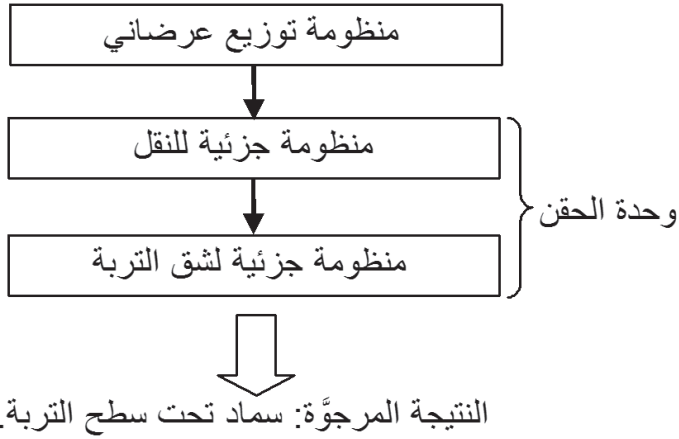


الشكل 24: توزع الكتلة بدلالة مدة التفريغ والموقع العرضاني (نتائج التجربة 3 من الجدول 2).

استعمل النموذج الأولي للناشر مع عدة أنواع من الأسمدة العضوية. وجرى تحديد مقدار التحسن في تجانس التوزيع بالقياس المستمر لكتلة المادة الخارجة من كل منفذ في منظومة التوزيع العرضاني. وأُجريت الاختبارات باستعمال روث بقر لحوم (54.5% مادة صلبة)، والنتائج ملخصة في الجدول 2. ويُرَى الشكل 24 نتائج التجانس. وقد أظهر النموذج القابل للضبط تجانساً محسناً لتوزيع المادة في اتجاه الحركة والاتجاه العرضاني. ويمكن لهذا الناشر الدقيق أن يحقق نشرًا للروث مبعثرًا أو ضمن نطاقات محددة. وتجدر الإشارة إلى أن نواقل التفريغ التي كانت تُحَرِّك أصلاً ميكانيكياً قد حُوِّلت بحيث تُحَرِّك هيدروليكيًا. وهذا يوحي بأن سرعة نواقل التفريغ يمكن أن تُضَبَّط بحيث تحقق مزيداً من التحسين في تجانس التوزيع طولانياً (الشكل 24).

وبناءً على مزايا الروث السائل المحقون الواضحة التي جرى استعراضها، طوّر

معهد البراري للآلات الزراعية (Prairie Agricultural Machinery Institute) منظومة نشر تحت سطح التربة بالتعاون مع جامعة ساسكاتشوان. وباستعمال ناشر الروث الدقيق بوصفه منصة أساسية، أمكن تطوير المفهوم المبين في الشكل 25 لاستعماله في تجهيزة حقن. ويقوم المفهوم على وظيفتين أساسيتين: نقل المادة من منافذ خرج النموذج إلى ما دون سطح التربة، وتكوين فراغ في التربة لاستقبال المادة. وتنص التوصيات الزراعية لمنطقة البراري الكندية على معدل نشر سنوي يساوي 19.8 طن للهكتار من روث بقر اللحوم.



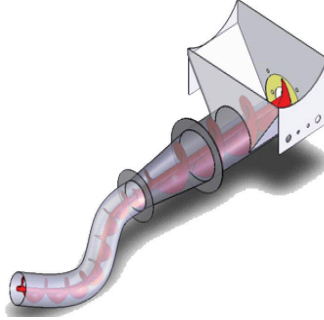
الشكل 25: مفهوم تجهيزة الحقن.

وكانت السرعة التصميمية للتجهيزات في الحقل 4.8 كيلو متراً في الساعة، وكانت الفواصل بين الحواقي 406 مليمترًا. وباستعمال هذين الموسطين، وجب أن تساوي وتيرة التفريغ عند كل حاقن 1.1 كيلو غراماً في الثانية. وينطوي معيار تصميم آخر على المقدرة على التعامل مع أسمدة عضوية مختلفة، خاصة روث بقر اللحوم، إضافة إلى إبقاء تحريك التربة أصغرياً. وبتعريف معايير التصميم الهامة تلك، يمكن تصميم المنظومة التي تمكن من النشر تحت سطح التربة. وتحتوي منظومة التوزيع العرضاني في ناشر الروث الدقيق ستة منافذ خرج، ولذا فإن النموذج الأولي الجاهز للحقن سوف يحتوي على ست وحدات حقن.

وابتكر ناقل ميكانيكي لتلبية معيار تصميم حاقن الروث الصلب. واعتُبرت منظومة الإزاحة بالدفع أفضل حل حين مقارنتها بالجر الذي يجب أن تصل فيه كمية معينة من المادة قبل أن تبدأ بالتدفق إلى الخرطوم. بوجود الناقل الميكانيكي، سوف

تتحرك المادة بقطع النظر عن الاختلافات في الكثافة الحجمية المتوقعة في الروث. وقد اعتمد مفهوم الناقل الحلزوني. ووفقاً لما هو مبين في الشكل 25، فإن المادة المفرّغة من منافذ خرج منظومة التوزيع العرضي في نموذج الناشر الأولي يجب أن تُجمع بواسطة منظومة النقل الجزئية. وبافتراض أن معيار التصميم هو إحداث أقل تحريك للتربة، فإن من المهم أن يكون قطر الناقل المرن أصغرياً. ويجب أن توكل وظيفة تغذية مهمة لمنظومة النقل الجزئية لتمكين المادة الخارجة من منظومة التوزيع العرضية من التدفق عبر القطر المحدود للناقل المرن. ويُري الشكل 26 منظومة النقل الجزئية.

ويحتوي الجيل الثالث من الناقل الحلزوني المرن الذي طوّره معهد البراري للآلات الزراعية مفاصل كروية متوضعة حيث يمكن للناقل أن ينحني. وهذا يجعله قادراً على تحمّل إجهادات العمل. وتتضمن منظومة شقّ التربة الجزئية فتّاحة تربة قرصية مع دوايب قريبة. وتمكّن هذه المنظومة من شقّ أخدود في التربة كبير بقدر يكفي لاستيعاب كمية من الروث الذي يوضّع بواسطة النواقل الحلزونية المرنة. ويُري الشكل 27 صورة للنموذج الأولي مع منظومة الحقن. ويجري حالياً تقييم المنظومة من حيث الأداء الزراعي والبيئي.



الشكل 26: منظومة نقل جزئية من حاقن.



الشكل 27: نموذج أولي لناشر روث دقيق مع منظومة نشر تحت سطح التربة.

خلاصة

يتصف نشر الأسمدة العضوية على الأرض الزراعية بعدد من المزايا. ويمثل التحكم الصحيح في وتيرة النشر والتجانس السليم لتوزع المادة عاملين مهمين في ضمان جودة النشر ودرء مفاعيله الضارة. ويجب أن تكون القيمة الغذائية للسماد في المادة معروفة، ويجب حساب وتيرة النشر تبعاً لاحتياجات منظومة المحصول والتربة من المغذيات. وتشتمل عملية النشر على تأثيرات متبادلة بين المواد العضوية والمنظومات الميكانيكية. ويجب انتقاء التجهيزات التي تنفذ عملية النشر تبعاً لخواص تدفق المادة التي سوف تُنشر وخواصها الفيزيائية. وإنه لمن الضروري إعداد التجهيزات وتشغيلها على النحو الصحيح. ولا يمكن اعتبار نشر الأسمدة العضوية على الأرض الزراعية تكنولوجيا ثانوية أو عملية ذات أولوية منخفضة إذا أردنا النجاح في استغلال القيمة الغذائية التي يوفرها السماد للنبات. ويجب تحديد وظائف منظومة النشر والآلات الأخرى وتحليلها بناء على تلك الوظائف.

لقد بُدلت مساعٍ حثيثة لتحقيق فهم أفضل لتدفق المادة في الأنواع المختلفة من تجهيزات النشر. وإنه لمن الضروري النظر في الخواص الفيزيائية والجريانية للمواد حين انتقاء التجهيزات التي سوف تُستعمل. وتُستعمل المعرفة الجيدة لكيفية التأثير المتبادل بين المواد والآلات من أجل تحسين جودة توزيع المادة. وثمة حاجة إلى بحوث من أجل المزيد من تحسين أداء منظومات النشر من حيث التحكم في وتيرة النشر وتجانس توزع المادة. وقد جرى تطوير ناشر جديد يستطيع نشر الأسمدة العضوية بالبعثرة أو تحت التربة اعتماداً على خواص المواد وتأثيراتها المتبادلة مع المكونات الميكانيكية. وفي بعض الحالات، قد تكون ثمة حاجة إلى تجهيزات مصممة خصيصاً لتحقيق مستوى مقبول من جودة نشر السماد على الأرض الزراعية.

كلمة شكر

يشكر المؤلفون كثيراً من الأفراد والهيئات الذين أسهموا في مشاريع البحث والتطوير المختلفة الخاصة بنشر روث المواشي على الأرض الزراعية، وقد شاركوا فيها منذ ثمانينات القرن العشرين، ويعتذر المؤلفون لمن لم تُذكر أسماؤهم.

الأفراد:

M.T. Alam, P. Beaudry, Y. Bedard, G. Bessette, R. Carrier, F. Chabot, Y. Chen, L. Chenard, L. Chi, T. Crowe, W. Dehod, D. Ferland, T. Fonstad, P. Gagnon, E. Gaudet, S. Godbout, G. Hultgreen, N., Gregg., H. Guo, C. Iskra, S. Karmakar, T. King, R. Lagace, S.P. Lemay, P. Loran, R. Lorenz, B. Marquis, C. Maule, F. Mercier, M. Nketia, A. Pesant, S. Pigeon, E. Piron, M. Pouliot, C. Reid, P. Rhodes, M. Roberge, F. Rondeau, P.-M. Roy, P. Savard, J.J. Schoenau, S. Siroski, S. Tessier, F. Thirion, K. Stewart, W. Stock, J. Wassermann.

الهيئات الحكومية والصناعية:

Government and industry: Agriculture and Agri-Food Canada (AAFC); Alberta Agricultural Research Institute (AARI); Alberta Research Funding Consortium; Canadian Pork Council (CPC); Canadian Poultry Research Council (CPRC); Federation des producteurs de porcs du Quebec (FPPQ); Le Fond quebecois de la recherche sur la nature et les technologies (FQRNT), Les Composts du Quebec inc.; Les Industries Hanlois Ltee; Ministere de l'agriculture, des pecheries et de l'alimentation du Quebec (MAPAQ); Ministere de l'environnement du Quebec (MEQ); Natural Sciences and Engineering Research Council (NSERC); Prairie Agricultural Machinery Institute (pAMI), Prairie Swine Centre Inc. (PSCI); Saskatchewan Agriculture, Food and Rural Revitalization (SAFRR); Sask Pork; Wic inc,

مراجع

Agnew, J., Laguë, C. & Schoenau, J. (2008). Greenhouse gas and odour emission from land application of livestock manure. Unpublished data: University of Saskatchewan, Saskatoon, SK.

ASABE (2007). Uniform Terminology for Rural Waste Management. ASABE Standard S292.5 in: ASABE Standards 2007, *American Society of Agricultural and Biological Engineers*, St. Joseph, MI, USA. pp. 673-677.

ASABE (2006). Manure Production and Characteristics. ASABE

Standard D384.2 in: ASABE Standards 2006, *American Society of Agricultural and Biological Engineers*, St. Joseph, MI, USA. pp. 709-727.

Balsari, P., Airoidi, G. & Gioelli, F. (2002). An innovative FYM and compost spreader. ASAE Paper No. 021190, St. Joseph, Mich.: ASAE.

Banham, F. & Haugen-Kozyra, K. (2004). Agricultural greenhouse gases, methane, and nitrous oxide. In: M. Amrani, *Manure Research Findings and Technologies: From Science to Social Issues*. Edmonton, AB: AAFRD Technical Services Division Press, pp. 97-140.

Bisang, M. (1987). Epanduses de fumier: comparaison de différents dispositifs d'épandage. *Technique Agricole*, Switzerland. 1987, 49(3), 8pp.; Rapports FAT No. 300.

Bulinski, J. & Klonowski, J. (1998). Analysis of power requirement for manure spreader working units. *Annals of Warsaw Agricultural University*, No. 33, 27-32.

Bunemann, E. K., Schwenke, G. D. & Van Zwieten, L. (2006). Impact of agricultural inputs on soil organisms—a review. *Australian Journal of Soil Research*, 44(4), 379-406.

Cemagref, (1997). Les matériels de fertilisation et traitement des cultures. *Technologies de l'agriculture*. Collection FORMAGRI. Volume 4/5, 1^{re} édition. Cemagref-Dicova, Lavoisier-TEC et DOC, ITCF, PNCUMA. 343 pages.

CEN. (2002). European Standard EN 13080: Agricultural machinery - Manure spreaders Environmental protection - Requirements and test methods. CEN, European Committee for Standardization.

Chen, Y. & Tessier, S. (2001). Criterion for design and selection of injection tools to minimize liquid manure on the soil surface. *Transactions of the ASAE*, 44(6), 1421-1428.

Chen, Y., Zhang, Q. & Petkau, D. S. (2001). Evaluation of different techniques for liquid manure applications on grassland. *Applied Engineering in Agriculture*, 17(4), 489-496.

Chinkuyu, A. J., Kanwar, R. S., Lorimor, J. C., Xin, H., & Bailey, T. B. (2002). Effects of laying hen manure application rate on water quality. *Transactions of the ASAE*, 45(2), 299-308.

Crowther, A. J. (1958). The distribution of particles by a spinning disc. *Journal of Agricultural Engineering Research*, 3(4), 288.

Cunningham, F. M. & Chao, E. Y. S. (1967). Design relationships for centrifugal fertilizer distributors. *Transactions of the ASAE*, 10(1), 91-95.

Ding, W., Meng, L., Yin, Y., Cai, Z. & Zheng, X. (2007). CO₂ emission in an intensively cultivated loam as affected by long-term application of organic manure and nitrogen fertilizer. *Soil Biology and Biochemistry*, 39(2), 669-679.

Duhovnik, J., Benedièiè, J. & Bernik, R. (2006). Side-Delivery Spreading of Manure. *Transactions of the ASABE*, 49(6), 1663-1675.

Flavel, T. C. & Murphy, D. V. (2006). Carbon and nitrogen mineralization rates after application of organic amendments to soil. *Journal of Environmental Quality*, 35(1), 183-193.

Frick, R., Heusser, J. & Shick, M. (2001). Technique d'épandage des engrais à base de déchets et de fumier de stabulation libre: Qualité du travail et adéquation de différents systèmes d'épandage. Rapport FAT No. 560.

Geohring, L. D., McHugh, O. V., Water, M. T., Steenhuis, T. S., Akhtar, M. S. & Walter, M. T. (2001). Phosphorus transport into subsurface drains by macropores after manure applications: Implications for best manure management practices. *Soil Science*, 166(12), 896-909.

Gilley, J. E., Risse, L. M. & Eghball, B. (2002). Managing runoff following manure application. *Journal of Soil and Water Conservation*, 57(6), 530-533.

Ginting, D., Kessavalou, A., Eghball, B. & Doran, J. W. (2003). Greenhouse gas emissions and soil indicators four years after manure and compost applications. *Journal of Environmental Quality*, 32, 23-32.

Glancey, J. L. & Adams, R. K. (1996). Applicator for sidedressing

row crops with solid wastes. *Transactions of the ASAE*, 39(3), 829-835.

Glancey, J. L. & Hoffman, S. C. (1996). Physical properties of solid waste materials. *Applied Engineering in Agriculture*, 12(4),441-446.

Gupta, R. K, Rudra, R. P., Dickinson, W. T. & Wall, G. J. (1997). Surface water quality impacts of tillage practices under liquid swine manure application. *Journal of the American Water Resources Association*, 33(3), 681-687.

Hanna, H. M., Bundy, D. S., Lorimor, J. C., Mickelson, S. K., Melvin, S. W. & Erbach, D. C. (2000). Manure incorporation equipment effects on odor, residue cover, and crop yield. *Applied Engineering in Agriculture*, 16(6), 621-627.

Hao, x., Change, C. & Li, X. (2004). Long-term and residual effects of cattle manure application on distribution of P in soil aggregates. *Soil Science*, 169 (10), 715-728.

Hoffmeister, G., Watkins, S. C. & Siveburg, J. (1964). Bulk blending of fertilizer material: Effect of size, shape, and density on segregation. *Journal of Agriculture and Food Chemistry*, 12(1), 64-69.

Hooda, P. S., Truesdale, V. W., Edwards, A. C., Withers, P. J. A., Aitken, W. N., Miller, A. & Rendell, A. R. (2001). Manuring and fertilization effects on phosphorus accumulation in soils and potential environmental implications. *Advances in Environmental Research*, 5(1), 13-21.

Jarvis, I. E., Koroluk, R. & Lefebvre, A. (2004). Canadian Farm Environmental Management Indicators. Paper presented at the OECD Expert Meeting on Farm Management Indicators and the Environment, Palmerston North, New Zealand. 10 pages plus appendices.

Joy, D. M., Lee, H., Reaume, C. M., Whiteley, H. R. & Zelin, S. (1998). Microbial. contamination of subsurface tile drainage water from field applications of liquid manure. *Canadian Agricultural Engineering*, 40(3),153-160.

Khalilian, A., Williamson, R. E., Sullivan, M. J., Mueller, J. D. &

Wolak, F. J. (2002). Injected and broadcast application of composted municipal solid waste in cotton. *Applied Engineering in Agriculture*, 18(1), 17-22.

Kingery, W. L., Wood, C. W., Delaney, D. P., Williams, J. C. & Mullins, G. L. (1994). Impact of long-term land application of broiler litter on environmentally related soil properties. *Journal of Environmental Quality*, 23(1), 139-147.

Korol, M. (2002). Canadian Fertilizer Consumption, Shipments and Trade 2001/2002. Agriculture and Agri-Food Canada, Ottawa, ON, Canada. 31 pages.

Laguë, C. (1991). Design of a Semi-Liquid Dairy Cattle Manure Spreader/Injector. *Applied Engineering in Agriculture*, 7(6), 655 - 660.

Laguë, C., Roy, P. M., Chénard, L. & Lagacé, R. (1994). Wide-span Boom for Band spreading of Liquid Manure. *Applied Engineering in Agriculture*, 10(6), 759 - 763.

Landry, H., Laguë, C. & Roberge, M. (2004). Physical and Rheological Properties of Manure Products. *Applied Engineering in Agriculture*, 20(3), 277-288.

Landry, H., Piron, E., Agnew, J. M., Lague, C. & Roberge, M. (2005). Performances of Conveying Systems for Manure Spreaders and Effects of Hopper Geometry on Output Flow. *Applied Engineering in Agriculture*, 21(2), 159-166.

Lau, A., Bittman, S. & Lemus, G. (2003). Odor measurements for manure spreading using a subsurface deposition applicator. *Journal of Environmental Science and Health*, B38(2), 233-240.

Ling, Q., Wilhoit, J. H. & Kutz, L. J. (1996). Effect of material metering on the performance of a spinner-type spreader broadcasting poultry litter. New trends in farm machinery development and agriculture, 41-49, Society of Automotive Engineers, Warrendale, PA.

Lorimor, J. (2000). Manure application with dry spreader. Odor and Nutrient Management, Spring 2000. accessed at <http://www.extension>.

iastate.edulpages/communications/epc/Spring2000/dryspreaders.html.

Malgeryd, J. & Wetterberg, C. (1996). Physical properties of solid and liquid manures and their effects on the performance of spreading machines. *Journal of Agricultural Engineering Research*, 64, 289-298.

Osei, E., Gassman, P. W., Jones, R. D., Pratt, S. J., Hauck, L. M.; Beran, L. J., Rosenthal, W. D. & Williams, J. R. (2000). Economic and environmental impacts of alternative practices on dairy farms in an agricultural watershed. *Journal of Soil and Water Conservation*, 55(4), 466-472.

Pain, B. F., Clarkson, C. R., Phillips, V. R., Klarenbeek, J. V., Misselbrook, T. H. & Bruins, M. (1991). Odour emission arising from application of livestock slurries on land: Measurements following spreading using a micrometeorological technique and olfactometry. *Journal of Agricultural Engineering Research*, 48,101-110.

PAMI (1997). A Guide to Pipeline Manure Injection Systems. Research Update no. 729. Humboldt, SK, Canada: Prairie Agricultural Machinery Institute, 12 pages.

Patterson, D. E. & A. R. Reece. 1962. The theory of the centrifugal distributor. I: Motion on the disc, near-center feed. *Journal of Agricultural Engineering Research*, 7(3), 232-240.

Pezzi, F. & Rondelli, V. (2002). Evaluation of a prototype spreader in the distribution of poultry manure. *Applied Engineering in Agriculture*, 18(3), 285-291.

Picaud, D. (2001). Importance des caractéristiques des fumiers sur les performances d'épandage. Unpublished report. Ecole Nationale d'Ingénieurs des Travaux Agricoles, Clermont-Ferrand, France.

Rahman, S., Chen, Y., Ziang, Q. & Lobb, D. A (2004). Sweep injection tool effects on soil surface profile, manure exposure and odor emission. ASAE Annual International Meeting, Ottawa, ON. Paper No. 044076.

Reed, W. B. & Wacker, E. (1968). Determination of the distribution

pattern of dry fertilizer applicators. ASAE Paper No. 68-606. St. Joseph, Mich.: ASAE.

Rotz, A, Kleinman, P., Dell, C., Schmidt, J. & Beegle, D. (2007). Environmental and economic comparisons of manure application methods on dairy farms. Proceedings of the ASABE Annual International Meeting. ASABE St. Joseph, MI. 15 p.

Schoenau, J. J. & Assefa, B. (2004). Land application and handling of manure. In: M. Amrani, Manure Research Findings and Technologies: From Science to Social Issues. Edmonton, AB: AAFRD Technical Services Division Press, pp. 97-140.

Sherlock, R. R., Sommer, S. G., Khan, R. Z., Wood, C. W., Guertal, E. A, Freney, J. R., Dawson, C. O. & Cameron, K. C. (2002). Ammonia, methane, and nitrous oxide emission from pig slurry applied to a pasture in New Zealand. *Journal of Environmental Quality*, 31, 1491-1501.

Shumann, A. W. & Summer, M. E. (2004). Formulation of environmentally sound waste mixtures for land application. *Water, Air, and Soil Pollution*, 152 (1-4), 195-217.

Smith, D. R., Owens, P. R., Leytem, A B. & Warnemuende, E. A (2007). Nutrient losses from manure and fertilizer applications as impacted by time to first runoff event. *Environmental Pollution*, 147(1), 131-137.

Silsoe Research Institute (SRI) (1998). Improved precision of manure application. Final Project Report. Silsoe Research Institute, Bedford, UK.

Thirion, F., Chabot, F. & Zwaenepoel, P. (1998). Integrated weighing platform for manure spreader regulation, Paper 98E002, AGENG, Oslo, 1998, 8p.

Une, A & Goss, M. J. (2006). Impact of organic waste amendments on soil hydraulic properties and on water partitioning. *Journal of Environmental Engineering and Science*, 5(3), 243-251.

USDA (2002). 2002 Census of Agriculture. Volume 1 Chapter 1: U.S. National Level Data. United States Department of Agriculture,

National Agricultural Statistics Service.

Wang, F., Kanwar, R. S., Bailey, T. B. & Baker, J. L. (2000). Impact of swine manure application rate and method on bacteria transport with runoff water. *Proceedings of the ASAE Annual International Meeting*. ASAE St. Joseph, MI. p. 3527-3542.

Wang, H. Magesan, G. N. & Bolan, N. S. (2004). An overview of the environmental effects of land application of farm effluents. *New Zealand Journal of Agricultural Research*, 47(4), 389-403.

Wang, J. (2004). It's a Waste and a Valuable Resource Too in: Canadian Agriculture at a Glance, Statistics Canada Publication 96-325-XPB, Ottawa, ON, Canada. pp. 149 - 156.

Wilhoit, J. H. & Ling, Q. (1996). Spreader performance evaluation for forest land application of wood and fly ash. *Journal of Environmental Quality*, 25, 945-950.

Wilhoit, J. H. & Ling, Q. (1999). Power requirements of spinner-type spreaders broadcasting poultry litter and wood ash. *Applied Engineering in Agriculture*, 15(5), 405-409.

Wilhoit, J. H., Wood, C. W., Yoo, K. H. & Minkara, M. Y. (1993). Evaluation of spreader distribution patterns for poultry litter. *Transactions of the ASAE*, 9(4), 359-363.

Wilhoit, J. H., Bannon, J. S., Duffield, R. R. & Ling, Q. (1994). Development and evaluation of a drop applicator for poultry litter. *Transactions of the ASAE*, 10(6), 777-782.

Wulf, S., Maeting, M. & Clemens, J. (2002a). Application technique and slurry cofermentation effects on ammonia, nitrous oxide, and methane emissions after spreading: I. Ammonia volatilization. *Journal of Environmental Quality*, 31, 1789-1794.

Wulf, S., Maeting, M. & Clemens, J. (2002b). Application technique and slurry co-fermentation effects on ammonia, nitrous oxide, and methane emissions after spreading: II. Greenhouse gas emissions. *Journal of Environmental Quality*, 31, 1795-1801.

الفصل الخامس

نماذج مبيدات حشرات لمحاكاة انتقال

مدخّات التربة في البيئة

Dong Wang

USDA-ARS Water Management Research, Parlier, CA

ملخص

استُعملت نماذج محاكاة مبيدات الحشرات والبرامح الحاسوبية منذ مدة طويلة للمساعدة على تحديد الأهمية النسبية للعوامل الكيميائية والبيئية والإدارية المختلفة التي تؤثر في فعالية مبيدات الحشرات وفي مفعولها البيئي. ومدخّات (Fumigants) التربة هي مجموعة خاصة من مبيدات الحشرات، وبسبب ضغط بخارها العالي، فهي مركبات عضوية متطايرة أيضاً. ومنذ اتخذ قرار الإيقاف التدريجي لاستعمال ميثيل البروميد (Methyl Bromide) في أوائل تسعينات القرن العشرين، أُجري كثير من البحث في توثيق المصير البيئي وبدائله المحتملة، وانتقاله في البيئة. والغرض من هذه المقالة هو مراجعة أنشطة النمذجة المتعلقة بمدخّات التربة بعد بدايات تسعينات القرن العشرين، مع تركيز خاص على اهتمام في نمذجة دفقات انبعاثات المدخّات. وهي تتضمن نظرة إجمالية عامة إلى المبادئ الفيزيائية والكيميائية الأساسية لنمذجة المصير البيئي لمدخّات التربة وانتقالها في البيئة. وتشتمل بدرجة رئيسية على نماذج رقمية للعملية، وإلى حدّ أقل، على نماذج تجريبية ارتدادية، أو نماذج انتشار الهواء. وثمة مقارنة لمزايا ومحدوديات النماذج المختلفة، إضافة إلى مناقشة للاحتياجات المستقبلية لنمذجة مدخّات التربة.

تقديم

تُعتبر نماذج المحاكاة أدوات ثمينة لتقدير المصير البيئي لمبيدات الحشرات وانتقالها في البيئة والأهمية النسبية لخواص تلك المبيدات (ومن أمثلتها ضغط البخار) التي يمكن أن تؤثر في آليات الانتقال الشائعة في البيئة (Jury et al., 1983; Wagenet et al., 1989). ومدخّنات التربة هي مجموعة خاصة من مبيدات الحشرات التي تتصف بضغط بخار عالٍ نسبياً، ولذا يكون جزء كبير منها في الطور الغازي بعد النشر في التربة. وبسبب ضغط البخار العالي، فإن تلك المواد هي مركبات عضوية طيارة تنطوي على إمكانية قوية لتلويث الهواء إذا حصلت ضياعات كبيرة منها في الجو.

لقد استُعمل ميثيل البروميد بكثافة مدخناً للتربة للحدّ من الديدان والفطريات والحشرات والأعشاب الطفيلية الضارة بالنباتات مع أكثر من 100 محصول في شتى أنحاء العالم. وهو يُعتبر ضرورياً لإنتاج كثير من نباتات الغذاء والزينة والشتول السنوية والدائمة العالية القيمة. وأشارت البحوث في أوائل تسعينات القرن العشرين أن البرومين الستراتوسفيري (Stratospheric) وميثيل البروميد الجوي يمكن أن يسهما في نضوب الأوزون الستراتوسفيري^(*) (Anderson et al., 1991; Mellouki et al., 1992; Reeves and Penkett, 1993; Butler, 1995; Montzka et al., 1996). ونتيجةً لذلك صُنّف ميثيل البروميد على أنه مادة تنضيب للأوزون من الفئة الأولى في بروتوكول مونتريال عن المواد التي تنضّب طبقة الأوزون وفي قانون الهواء النقي الأمريكي (United States Clean Air Act). وأبطل استعماله في الولايات المتحدة مدخناً للتربة منذ عام 2005 ما عدا حالات الاستعمال الاستثنائية التي تحصل الموافقة عليها سنوياً من قبل أطراف بروتوكول مونتريال الذي ترعاه الأمم المتحدة.

وقد أُجريت بحوث كثيرة بخصوص توثيق المصير البيئي لميثيل البروميد وانتقاله في البيئة، خاصة الانبعاثات الجوية منه، في أثناء تدخين التربة، والتقنيات التي يمكن استعمالها لتقليص تلك الانبعاثات. وقد قُدّر أن نحو 30%-60 من ميثيل البروميد المستعمل قد تطاير إلى الجو أثناء ممارسات التدخين الشائعة في الولايات

(*) المنتشر في طبقة الجو الأعلى (المترجم).

المتحدة، أي تلك التي تحصل بتغطية الحقل بغشاء من بلاستيك البولي إيثيلين (Polyethylene Plastic) بعد حقن ميثيل البروميد على عمق 25 سنتيمتراً (Yagi et al., 1993, 1995; Reible, 1994; Majewski et al., 1995; Yates et al., 1996ab). وعندما غُطِّي الحقل جزئياً بغشاء البولي إيثيلين فقط، كان يمكن لانبعاث ميثيل البروميد الكلية أن تصل إلى 90٪ من الكمية المطبقة (Wang and Yates, 1998). ووُجد أن معدّل انبعاث ميثيل البروميد مترابط مع تغيّرات درجة الحرارة (Yates et al., 1996c)، ومن خلال سلسلة من دراسات النمذجة، تبيّن (Wang et al., 1997a, 1998) في ما بعد أن نفاذية الغشاء البلاستيكي تجاه ميثيل البروميد تعتمد على درجة الحرارة، وهذا ما يُفسّر السلوك النهاري لدفقات ميثيل البروميد المتزامنة مع تغيّرات درجة حرارة الهواء. وبناءً على المبادئ الأساسية لانتقال مبيدات الحشرات في التربة، اشتملت طرائق تقليص الانبعاث التي استقصاها الباحثون على متغيّرات ذات صلة بالتربة (Gan et al., 1996)، منها نوع التربة ونسبة الماء فيها وكثافتها الحجمية وتقنيات الإدارة التي تحسّن التفكّك بمواد استصلاح التربة (Gan et al., 1998a)، أو تلك التي يمكن أن تمنع الانبعاثات باستعمال أغشية بلاستيكية ذات نفاذية منخفضة لميثيل البروميد (Daponte, 1995; Wang et al., 1997b) أو بحقن ميثيل البروميد في التربة حتى عمق أكبر من 25 سنتيمتراً (Yates et al., 1997).

وتركّزت البحوث الأخيرة في تطوير بدائل لميثيل البروميد من أجل تحقيق متطلبات تدخين التربة لمنظومات المحاصيل المختلفة التي اعتمدت عليه في الحد من الأمراض والعوامل المُمرضة التي تصاب بها التربة. والطرائق المستقصاة كيميائية (Mazzola and Mullinix, 2003; Chellemi, 2008) وغير كيميائية (Martin, 2005; Subbarao et al., 2007) واهتمت الطرائق الكيميائية غالباً باختبار مدخّنات تربة أخرى من حيث فعاليتها تجاه حشرات التربة (Roskopf et al., 2006; Candole et al., 2007a; Noling, 2008a) وقلقاً إضافياً. وقد اختُبرت كيمائيات تدخين موجودة وجديدة منها، الكلوروبيسين (Chloropicrin)، و1,3-ديكلوروبروين (1,3-D) (1,3-Dichloropropene)، ومولّدات ميثيل الإيزوثيوسيانات (Methyl Isothiocyanate) (MITC)، ومن أمثلتها ميتام الصوديوم (Metam Sodium)، وميثيل الأيوديد (Methyl Iodide) (MI) في المخبر (Wang et al., 1998b; Klose et al., 2006) والحقل (Gan et al., 1998b).

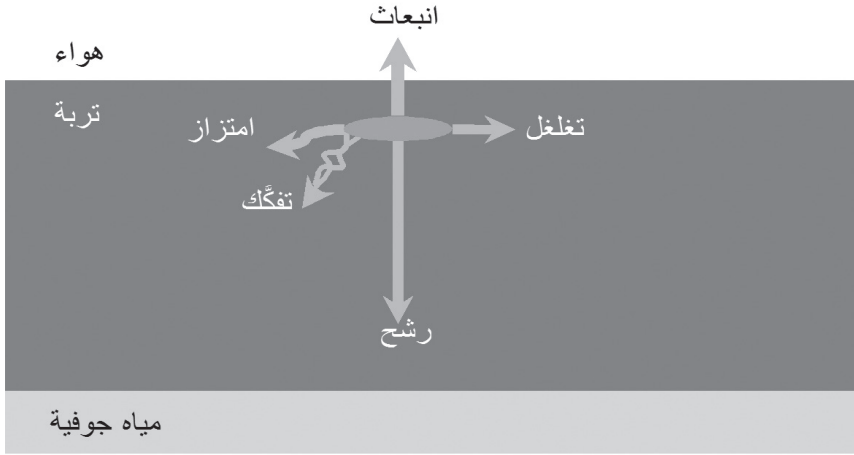
2001, 2005; Zheng et al., 2005; Ou et al., 2006; Candole et al., 2007b; van Wesenbeeck et al., 2007; Ashworht and Yates, 2007; Gao et al., (Chen et al., 1995; van den Berg et al., 1999; وفي دراسات نمذجة (2008, Wang et al., 1997a; 2000, 2004, 2007). ونظراً إلى ضغط البخار العالي نسبياً (مقارنة بمبيدات الحشرات الأخرى)، فإن هذه البدائل الممكنة لميثيل البروميد قد تكون عرضة لإنبعاثات جوية كبيرة. ومع أنها ليست من المواد المحتملة لتنصيب الأوزون، فإن بينها مركبات عضوية طيارة، وثمة قلق كبير من توليها للهواء ومن مخاطر تعرّض العمال ومعاونيهم لها في الحقول الزراعية المدخنة (CDPR, 2006). وإلى جانب الفاعلية تجاه الحشرات التي توجد في التربة، فإن من الاهتمامات الرئيسية هذه المدخّنات التحديد الكمي لضياعات الانبعاث في الظروف الحقلية المختلفة، وتطوير منهجيات يمكن تطبيقها بفاعلية لتقليل الانبعاثات الجوية.

إن الخبرات المكتسبة من دراسات ميثيل البروميد تنطبق على الأغلب على كيموايات التدخين البديلة أيضاً. فمصائرها وعمليات انتقالها مثل الامتصاص (Sorption) والتفكك والتغلغل تضاهي تلك الخاصة بميثيل البروميد، إلا أن خواصها الكيميائية مختلفة. وتقتصر هذه المقالة على نمذجة أنشطة ذات صلة بمدخّنات التربة بعد أوائل تسعينات القرن العشرين مع اهتمام خاص بمحاكاة دقات انبعاثات المدخّنات.

العمليات الأساسية في مصير مدخّنات التربة وانتقالها

على غرار معظم مبيدات الحشرات الأخرى غير المدخنة، وفور نشر المدخن في التربة، تخضع المواد الكيميائية إلى عمليات تلاش وانتقال آنية. وتخضع تعيّنات تطاير المواد الكيميائية بقوة إلى الانتقال تحت التربة وبالظروف البيئية المحيطة التي يمكن أن توصف بنماذج لعمليات الانتقال. ونظراً إلى أن نسبة كبيرة من المادة الكيميائية المتطايرة تكون في طور البخار، فإن تلاشها وانتقالها في وسط مساميّ يمكن أن يحصل آتياً في كل من الطورين الغازي والسائل (Amali et al., 1996). ويمكن للامتزاز والرشح في الطور الصلب بواسطة جسيمات التربة أن يجعل عملية الانتقال عملية عابرة على نحو أكثر (Petersen et al., 1996). أما عمليات التلاشي الرئيسية فهي الامتزاز في جسيمات التربة، والتفكك أو التحوّل بواسطة آليات كيميائية أو جراثومية، والانقسام إلى طور غازي في هواء التربة و طور محلول في ماء التربة،

والانتقال بالانتشار الجزيئي في ماء وهواء التربة، وبالحمل بواسطة ماء التربة في اتجاه تدفق الماء (Seiber, 2002). ويبيّن الشكل 1 مسارات التلاشي والانتقال تلك تحطيطياً. ويحصل الانبعاث عندما تنتشر مادة التدخين الكيميائية في الطور الغازي (أو تنتقل مع ماء التربة في الطور السائل) عبر بنية التربة إلى سطحها، ومن ثمّ إلى الجو. والارتشاح هو حركة تغلغل وحمل نزولاً إلى مستوى الماء الجوفي.



الشكل 1: مصير المدخن ومسارات انتقاله بعد التطبيق على التربة.

الامتزاز

تُفترض عادة حالة توازن بين تراكيز المدخن في ماء التربة، أي تركيز الطور السائل (C_L)، وسطوح التربة المحيطة، أي تركيز الطور الممتز (C_S). ومن الشائع أيضاً افتراض أن تراكيز المدخن في الطور السائل، وتلك التي في الطور الممتز متناسبة ويمكن أن ترتبطاً معاً بواسطة معامل التوزع (K_d):

$$K_d = C_S / C_L \quad (1)$$

ويمكن وصف العلاقة بين C_L و C_S على نحو أفضل بمعادلات لاخطية، مثل علاقة فرويندليش (Freundlich Relationship). وتبعاً لنوع روابط وخواص المدخن الكيميائية، يمكن لعملية الامتزاز أن تكون عكوسة أيضاً، مع بقاء (Hysteresis) أو من دونه.

التفكك

يمكن تصنيف استقلاب جزيئات المدخن في بيئة التربة في تحولات حيوية ولاحوية. وتتضمن التفاعلات اللاحيوية عمليات كيميائية عادية من مثل الأكسدة والإرجاع والحلمهة. ويمكن للتحلل الضوئي أن يحصل عندما تصل الجزيئات الكيميائية سطح التربة. وتشتمل التحولات الحوية عادة على أنشطة جرثومية تُستعمل فيها مادة المدخن الكيميائية ركيزة لنمو المتعضيات المكروية أو تُضمّن فيها. تسمى الضياعات في كل من المسارين الحيوي واللاحيوي مجتمعة بالتفكك، ويُمثل معدّل هذه التفاعلات (التي تقود كيميائياً إلى اختفاء جزيئات المدخن الأصلي) غالباً بمعادلة تغيّر من المرتبة الأولى:

$$dC/dt = -\mu C \quad (2)$$

حيث C هو تركيز المدخن في الطور السائل أو الطور الممتز، و t هو الزمن، و μ هو ثابت معدّل التفكك من المرتبة الأولى. وتسمى المدة اللازمة لكي ينخفض التركيز إلى نصف قيمته عند البداية عمر النصف ويمكن الحصول عليها من ثابت المعدل بعد مكاملة المعادلة.

الانقسام إلى طور غازي وطور سائل

يمكن تقدير انقسام المدخن إلى طورين، غازي وسائل، بواسطة ثابت قانون هنري (K_h):

$$K_h = C_g/C_L \quad (3)$$

حيث C_g هو تركيز الطور الغازي.

في معظم التطبيقات الحقلية، يُفترض توازن فوري لانقسام الطور (أو لا يُسمح بالتشبع الفائق) بسبب المنظومة المفتوحة في بيئة التربة. ومن المهم أيضاً ملاحظة خاصيتين فريدتين في K_h : (1) ترتبط قيمة K_h مباشرة بضغط بخار مادة المدخن الكيميائية؛ فمثلاً، الكيماويات ذات ضغط البخار العالي التي من مثل ميثيل البيروميد تتصف بقيم عالية لـ K_h ، والعكس صحيح. (2) يعتمد K_h على درجة الحرارة، ويزداد عادة مع ازدياد درجة حرارة المحيط.

الانتقال

يمكن عزو انتقال المدخن في التربة إلى ثلاث عمليات رئيسية: (1) الانتشار في ماء التربة، (2) والانتشار في هواء التربة، (3) والحمل بهاء التربة. وبضم قانون فيكس للانتشار (Fick's Law of Diffusion) إلى معادلة انحفاظ الكتلة، نستطيع كتابة معادلة انتقال المدخن المتكاملة الثنائية الأبعاد الآتية:

$$\frac{\partial \theta C_L}{\partial t} + \frac{\partial \rho C_S}{\partial t} + \frac{\partial a_S C_G}{\partial t} = \quad (4)$$

$$\frac{\partial}{\partial x_i} \left(\theta D_{ij}^w \frac{\partial C_L}{\partial x_j} \right) + \frac{\partial}{\partial x_i} \left(a_S D_{ij}^g \frac{\partial C_G}{\partial x_j} \right) - \frac{\partial q C_L}{\partial t} - \mu_w \theta C_L - \mu_s \rho C_S - S_r C_r$$

حيث C_L و C_S و C_G هي تراكيز المدخن للأطوار الثلاثة، السائل والصلب والغازي، و q هو دفع ماء التربة، و μ_w و μ_s هما ثابتاً معدّل من المرتبة الأولى للمدخن في الطورين السائل والصلب، و θ نسبة الماء الحجمية، و ρ هي كثافة التربة الحجمية، و a_S نسبة الهواء في التربة، و S_r تركيز المدخن في تيار الماء، و C_r تركيز المدخن في حد التصريف، و D_{ij}^w هو موتر (تنتور) (Tensor) معامل الانتشار للطور السائل، و D_{ij}^g هو موتر معامل الانتشار في الطور الغازي، و t هو الزمن، و x هي المسافة، و i و j هما دليلان الاتجاهين الأفقي والعمودي. وهذه معادلة صعبة الحل بالطرائق التحليلية. وتبعاً للظروف الأولية والحدية، قد لا يكون ثمة حل تحليلي لها، برغم تطوير برامج رقمية لحل المعادلات التفاضلية بشروط حدية مختلفة (Simunek and van Genuchten, 1994; Simunek et al., 1999).

الانبعاث

من حيث كون الانبعاث (Emission) انتقالاً، فإنه يُعتبر ببساطة استمراراً لحركة المدخن بعيداً إلى الجو فوق سطح التربة. وعند ملتقى التربة بالهواء، يُفترض وجود طبقة راکدة من الهواء غالباً، ويمرّ المدخن عبر هذه الطبقة بالتغلغل الغازي. وفي حالة سطح التربة غير المغطى بشيء، أمكن تحقيق نتائج معقولة عندما افترض أن سماكة هذه الطبقة تساوي 5 ملليمتر (Jury et al., 1983). أما في حالة سطح التربة المغطى بغشاء من البلاستيك، افترضت سماكة طبقة شبه حدودية متناسبة مع مقاومة أو نفوذية الغشاء مادة مدخن كيميائية معينة (Wang et al., 1997a).

ويمكن استعمال معادلة تواصل عامة لوصف طور الإصدار:

$$F = -\theta D_{ij} \frac{\partial C_L}{\partial x_j} = \frac{D_g}{d} (C_g - C_{atm}) = h(C_g - C_{atm}) \quad (5)$$

حيث F هي كثافة دفق الانبعاث، و $h = D_g/d$ هو معامل انتقال الكتلة، و C_{atm} هو تركيز غاز المدخن فوق الطبقة الحدودية، و d هو متوسط قابل للضبط لتوصيف مقاومة الطبقة الحدودية للانتقال عبر ملتقى التربة والجو المشابه لسماكة طبقة الحدود الراكدة.

نشر المدخن في التربة

تبعاً لأنواع المدخّنات وتركيبها، تُنشر مدخّنات التربة عموماً باستعمال ثلاث طرائق: حقن سِكّيني (سكين شقّ التربة)، ونشر بالتنقيط مع ماء الري، وتضمين في التربة. يُنشر ميثيل البروميد وبعض مركبات الـ (Telone II, Telone 1,3-D) عادةً بالحقن السكّيني المباشر وبعُمق واحد تحت سطح التربة بواسطة جرار (C35) ذي تصميم خاص مزوّد بسكاكين لشق التربة. في النمذجة، يمكن اعتبار كيمائيات المدخن في الدخّل مصدرًا أيّاً على شكل خط، وتوصّف في المجال الثنائي الأبعاد بالمعادلتين الآتيتين:

$$C_{L,g}(x, z, 0) = C_0 \quad \text{for } (x = x_i, z = z_i) \quad (6a)$$

$$C_{L,g}(x, z, 0) = 0 \quad \text{for } (x \neq x_i, z \neq z_i) \quad (6b)$$

حيث C_0 هو التركيز الأولي للمدخن، و x_i, z_i يصفان إحداثيات حقن المدخن (برغم أنه ليس مصدرًا نقطيًا، لكن مساحة تطبيق المدخن الأولية صغيرة نسبيًا).

وبعض منتجات الـ 1,3-D من مثل InLine (Ajwa and Trout, 2004)، ومنتجات ميثام الصوديوم (Metam Sodium) مثل Vapam (Candole et al., 2007a)، مصنّفة للنشر بمنظومات الري بالتنقيط (أو نشر الكيمائيات بالري). لكن النشر بالتنقيط يستغرق مدة أطول كثيرًا من النشر السكّيني. ويمكن وصف هذه العملية بالآتي:

$$Q = Q_0 \quad \text{for } (t = 0 - t_0) \quad (7a)$$

$$C_L = \begin{cases} C_0 & \text{for } (t = 0 - t_i) \\ 0 & \text{for } (t = t_i - t_0) \end{cases} \quad (7b)$$

حيث Q أو Q_0 معدّل الري، و t_0 المدة الكلية للري بالتنقيط، و t_i مدة نشر المدخّن. وثمة حاجة لمدة بين t_0 و t_i لشطف مواد المدخّن الكيميائية المتبقية في منظومة الري.

يُنشر معظم مولدات ميثيل الإيزوثيوسيانات (ميتام الصوديوم ودازوميت (Dazomet) مثلاً) سطحياً، ويتبع ذلك تضمينها فوراً في التربة بعمق بين 15 و30 سنتيمتراً تقريباً. وفي هذه الحالة، يُمزج المدخّن عمودياً في التربة ضمن العمق المذكور. والعبارة الرياضية التي تصف ذلك هي:

$$C_{L,g}(x, z, t = t_c) = C_0(z = 0 - z_0) \quad (8a)$$

$$C_{L,g}(x, z, 0) = 0(z > z_0) \quad (8b)$$

حيث t_c هي لحظة نهاية أو ذروة تحوّل ميثيل الإيزوثيوسيانات من المادة الكيميائية الأم (أي ميتام الصوديوم والدازوميت)، و z_0 هو عمق تضمين المدخّن في التربة.

نماذج تدفق الانبعاث

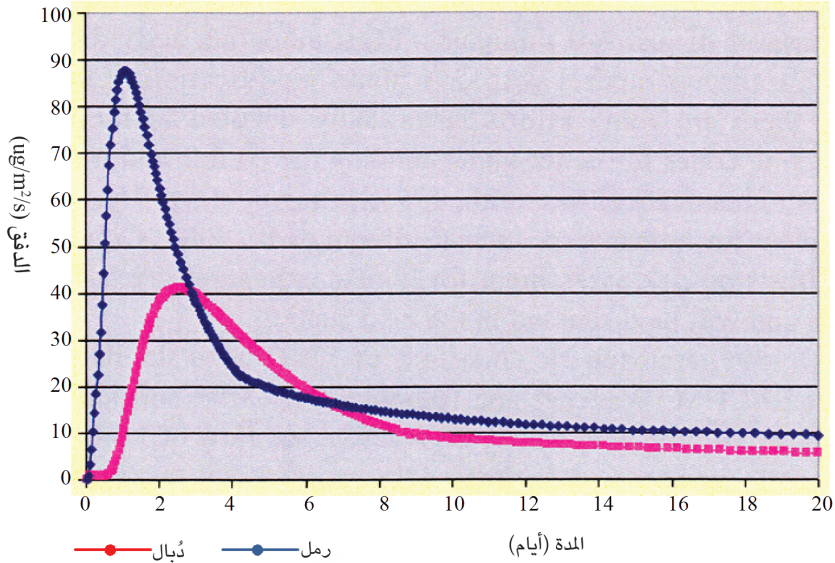
لم تُطوّر أخيراً نماذج جديدة شاملة لمحاكاة الانتقال البيئي لمدخّنات التربة وحدها. وقد استُعملت في معظم أنشطة النمذجة نماذج انتقال المحلول أو مبيد الحشرات الموجودة مع تعديل لرمازها المصدرية الأصلي أو من دون تعديل. إلا أن ثمة بعض المساعي المكرّسة خصيصاً لتعديل البرامج الحالية واستعمالها من أجل تحقيق فهم أفضل (1) لمصير وانتقال ميثيل البروميد ومواد التدخين الكيميائية البديلة (Chen et al., 1995; Wang et al., 1997a, 2000, 2004, 2007) أو (2) تقدير مخاطر تعرّض البشر لها (Sullivan et al., 2004; Cryer, 2005; Reiss and Griffin, 2006). وتقوم جهود تقدير مخاطر تعرّض البشر لها على نماذج انتشار الهواء الحالية التي سوف نناقشها في المقطع الآتي.

جرت محاكاة الانبعاثات الجوية لـ 1,3-D في (Chen et al., 1995) بواسطة نموذج مبيدات الحشرات الرقمي LEACHM (Wagenet and Hutson, 1987) بعد النظر في كل من الانتشار الغازي والحمل على الماء الجاري. وقد قُدّر تدفق الغاز بالحمل من 1,3-D من نقطة الحقن إلى سطح التربة بتقليد تدفق الماء بالخاصة الشعرية. وفي تجارب حقلية هدفت إلى دراسة انبعاثات ميثيل الإيزوثيوسيانات من

نشر ميتام الصوديوم، قام فان دن برغ (Van den Berg et al., 1999) أيضاً بمحاكاة استعمال فيها نموذج ارتشاح مبيد الحشرات وتراكمه (Van den Berg PESTLA and Boesten, 1998). وفي دراسة نمذجة أحدث نسبياً، استعمال كيرير (Cryer et al., 2003) نموذج مبيد حشرات مشهوراً آخر وحيد البعد، هو PRZM-3 (Carsel et al., 1995)، وذلك لمحاكاة تدفق انبعاث الـ 1,3-D.

واعتمد نموذج العناصر الدقيقة (Finite Element) الشامل الثنائي الأبعاد (CHAIN_2D) (Simunek and Van Genuchten, 1994) لمحاكاة مصير وانتقال وتطاير ميثيل البروميد (Wang et al., 1997a) و(1,3-D) (Wang et al., 2000) مع الأخذ في الحسبان لتأثير درجة الحرارة. ويحلّ النموذج معادلات تفاضلية جزئية لانتقال فوري لا متوازن لا خطي ثنائي الأبعاد للماء والحرارة والمحلول (في كل من الطورين السائل والغازي) في وسط مسامي متغيّر التشبّع. ونظّر في تفاعل تفكّك من المرتبة الأولى أثناء تدفق مائي عابر لمحاليل في الطورين الغازي والسائل. أما المعادلة الحاكمة لانتقال المدخن فهي معطاة بالعلاقة 4. وتُحسب كثافة الدفع السائل q في المعادلة بواسطة معادلة ريتشاردز، ويُحسب النقل الحراري في التربة بواسطة معادلة فورييه الثنائية الأبعاد. وقد مكّنت المرونة في انتقاء الشروط الحدية والأولية وبنية المصدر المفتوح من محاكاة طرائق نشر مختلفة للمدخّنات (نشر سكيّني، وتنقيط، وتضمين)، ومفعول الأغشية البلاستيكية في تقليص انبعاثات المدخّنات.

وباستعمال نفس الرمز الرقمي Chain_2D لحسابات تدفق الماء والمحلول والحرارة، جرى تطوير برنامج واجهة مستعمل بيانية قائم على ويندوز، اسمه (Wang DripFume et al., 2007)، خصيصاً لمحاكاة مصير وانتقال المدخّنات، ومنها الانبعاث الغازي، حين نشرها بواسطة منظومة ري بالتنقيط. ويحتوي البرنامج DripFume على قاعدة بيانات للتربة وبعض الخواص الكيميائية لمدخّنات منتقاة، ويولّد دخلاً للمحاكاة، ويستطيع معالجة الخرج بعدياً وإظهاره في مخططات وحيدة البعد أو ثنائية الأبعاد. ويُري الشكل 2 مثلاً لمقارنة تأثير نوع التربة في كثافة دفع انبعاث الكلوروبيسرين. وثمة سمة فريدة جديدة في البرنامج DripFume هي مقدّره على حساب وإظهار جداء التركيز والزمن لكل نقطة عقدية في النطاق الثنائي الأبعاد. وهذه مزية عظيمة لأن الاستجابة لجرعة المدخن البديل لميثيل البروميد المحتمل تتعلق بنوع الحشرة على الأرجح، وثمة حاجة إلى بحث مكثّف لدراسة هذا الموضوع (Klose et al., 2006; Candole et al., 2007a; Gerik and Wang, 2008; Noling, 2008b).



الشكل 2: محاكاة لكثافة دفع انبعاث الكلوروبيسرين من الدُبال والرمل (طُبِّق المدخّن على عمق 15 سنتيمتراً بمعدل 327 kg/ha).

وإضافة إلى النماذج الميكانيكية القائمة على العملية، استعملت نماذج تجريبية وارتدادية للربط بين انبعاثات مبيدات الحشرات وضغط البخار (Woodrow et al., 2001). وقارن المؤلفون عدداً من المركبات (ومنهما ميثيل البروميد وميثيل الإيزوثيوسيانات) ووجدوا أن الترابطات القائمة على ضغط البخار ومشتقة من طرائق تقدير الخواص الكيميائية كانت من حيث الجوهر مكافئة لترابطات قائمة على بيانات المنشورات العلمية. ومن مضامين ذلك الممكنة أن انبعاثات المدخّنات يمكن أن تقدّر على نحو معقول بقيم ضغط البخار المحسوبة لتراكيب المدخّنات الحالية والجديدة. وإلى حدّ ما، هذه طريقة لتبسيط نماذج استقصاء مبيدات الحشرات طوّرها (Jury et al., 1983, 1984).

يتضمن الجدول 1 ملخصاً لنماذج محاكاة مصير وانتقال مبيدات الحشرات المذكورة آنفاً مع مزاياها ومثالبها.

الجدول 1: نماذج مبيدات حشرات لمدخّنات التربة.

المرجع	المحدوديات	المزايا	أبعاد النموذج	نظام التشغيل	النموذج
Wagenet and Hutson, 1987; Hutson and Wagenet, 1992	خطوة زمن يومية؛ قائم على الـ DOS. وحيد البعد، ولا يوجد دعم تقني له.	مختبر جيداً لارتشاح النتروجين والانتقال العمودي.	1D	DOS	LEACHM
Carsel et al., 1985, 1995	خطوة زمن يومية؛ قائم على الـ DOS. وحيد البعد، ولا يوجد دعم تقني.	مبيد حشرات متعدد؛ طريقة مونتني كارلو لتقدير احتمال التعرض.	1D	DOS	PRZM-3
van den Berg and Boesten, 1998	خطوة زمن يومية؛ قائم على الـ DOS. وحيد البعد، ودعم تقني منخفض.	تدفق نسائقي للماء، حرارة التربة، محاكاة مبيدات الحشرات؛ مستعمل على نطاق واسع لتسجيل مبيدات الحشرات في أوروبا.	1D	DOS	PESTLA
Simunek and van Genuchten, 1994	قائم على الـ DOS، معقد ويطيء، ولا يوجد دعم تقني له.	انتقال متعدد الأطوار للماء والحرارة والمواد الكيميائية. الرمز المصدري متاح للتعديل.	2D	DOS	Chain_2D
Wang et al., 2007	لا يوجد مولد شبكة؛ بطيء ودعم تقني منخفض.	جميع مزايا Chain_2D. واجهة مستعمل بيانية لخيارات الدخل والخرج. قاعدة بيانات مبنية ضمنه لخواص التربة ومبيدات الحشرات. حسابات جداء التركيز بالزمن	2D	Windows	DripFume

نماذج الانتشار في الهواء

من مصادر القلق الرئيسية في مدخّات التربة حركة غازات المدخن خارج الموقع، وإمكان تعرّض الناس في الجوار إليها، أو ما يسمّون بالمتفرجين غالباً. فمع تقلص الأرض الزراعية وغزو المدن لها، يعيش المزيد من الناس بالقرب من الحقول التي يمكن أن تحتاج إلى تدخين التربة دورياً. وبغية دراسة مخاطر التعرّض لها وتقديرها، انخرطت هيئات تشريعية من مثل قسم تشريع المبيدات في كاليفورنيا ووكالة الحماية البيئية الأميركية في أبحاث تدخين التربة ومراقبة أنشطته (Barry et al., 1996; USEP A, 2004; Liet al., 2005; CDP, 2006). وتعمد غالبية أعمال النمذجة بهذا الشأن على نموذج انتشار الهواء الذي اعتمده وكالة الحماية البيئية الأميركية، المسمّى ISCST3 والصادر في عام 1995 للتنبؤ بتراكيز المدخّات المحيطية. وعلى سبيل المثال، استعمل باري وآخرون (Barry et al., 1996) النموذج لتقدير تراكيز ميثيل البروميد المحيطة بحجرات ومستودعات مدخّنة. إن النموذج ISCST3 هو نموذج ريشة غوصية (Gaussian Plume) لتقدير جودة الهواء المحيط في مواقع إطلاق الملوثات المعرّف تقريباً بمصدر نقطي تقريباً على مستوى المنطقة. ويحتاج النموذج لعمله إلى متغيّرات جووية، قبيل فئة استقرار الهواء وسرعة الرياح ودرجة حرارة الهواء واتجاه الرياح وارتفاع سقف منطقة الهواء التي ينحصر ضمنها نفس الإصدار والمزج.

تركز استعمالات نموذج مدخّات التربة ISCST3 في مكاملة نموذج انتشار الهواء مع مولّدات طقس عشوائية بغية تكوين عوامل مخاطر التعرّض للمدخّات والمساعدة على رسم مناطق عازلة ضرورية للحقول المدخّنة. ومن وجهة نظر تشريعية، حين تسجيل مدخّن جديد أو إعادة تسجيل مدخّن موجود، ثمة حاجة إلى بيانات (ومنها النمذجة) عن مخاطر التعرّض المحتملة للمدخّن في البيئة المحيطية. وفي عام 2004، أجرت وكالة الحماية البيئية الأميركية مراجعة لثلاثة نماذج لتعرّض المتفرجين للمدخّات هي (1) نموذج التعرّض والمخاطر (Exposure and Risk Model For Fumigants) (PERFUM) الذي يستعمل الميثان اليودي بوصفه دراسة حالة، و(2) منظومة نمذجة التعرّض للمدخّن (Fumigant Exposure Modeling System) (FEMS) الذي يستعمل ميثان الصوديوم بوصفه دراسة حالة، و(3) منظومة تقييم التعرّض لمدخّن التربة (SOil Fumigant Exposure

(SOFEA) Assessment System) الذي يستعمل التيلون (Telone) بوصفه دراسة حالة (USEPA, 2004). وقد نُشرت النماذج الثلاثة في مجلات محكّمة (Sullivan et al., 2004; Cryer, 2005; Reiss and Griffin, 2006)، واستُعملت فيها جميعاً طرائق مناخية عشوائية مكيفة (من منطقة محلية معينة مع قيمة وسطى وانحراف معياري لكل متحوّل مناخي أساسي) لتكون دخلاً للنموذج ISCST3. والفرق الرئيسي بين النماذج هو مواد المدخن الكيميائية التي جرت محاكاتها.

وإضافة إلى نماذج انتشار الهواء القائمة على العملية، استُعمل التحليل التجريبي أو الارتدادي من أجل ربط تراكيز ميثيل البيروميد في الهواء المحيط بمساحة ومقدار الاستعمال على مستوى المنطقة (Li et al., 2005).

خلاصة واحتياجات مستقبلية

باختصار، يتركز اهتمام النمذجة الحديثة لمدخّنات التربة وتطوير نماذجها على دراسة مواضيع انبعاث الغازات وانتشارها وتركيزها في الهواء والتعرّض لها. وقد أُجريت بحوث كثيرة في تدخين التربة في الخمسة عشر عاماً السابقة بسبب الإيقاف التدريجي لاستعمال ميثيل البيروميد في أوائل تسعينات القرن العشرين. وكان أحد مواضيع البحث توثيق مصير المدخّنات وانتقالها في البيئة، خاصة انبعاثات ضياع ميثيل البروميد (التدفّقات والإصدارات الكلية) وبدائله الممكنة. وتبدو المحاكاة بواسطة النماذج المعدلة لمبيدات الحشرات الموجودة خياراً منطقيّاً أظهر نتائج جيدة مقارنة بالقياسات الحقلية. وباستعمال نماذج أكثر تطوّراً مثل Chain_2D أو DripFume، يشبه إجراء المحاكاة القيام بـ «تجارب افتراضية»، حيث من الممكن مقارنة عدد كبير من تشكيلات مركبات المدخّنات والظروف البيئية من دون الإنفاق على القياسات الحقلية وأخذ العينات وتحليلها. ويمكن لرزمة برمجيات نموذج أكثر تطوّراً، مثل HYDRUS 2D/3D (Simunek et al., 2008)، أن تحسّن القدرات في هذا المجال وتجعله أكثر سهولة.

وثمة حاجة إلى مساع مستقبلية لدراسة عمليات المصير والانتقال في مراحل مبكّرة من نشر المدخن. ونتيجة لضغط البخار العالي الموجود في معظم مركبات المدخّنات، تنزع تفاعلاتها الفيزيائية والكيميائية إلى الحدوث سريعاً في المراحل الأولى من النشر (في غضون دقائق). لكن نماذج مبيدات الحشرات الحالية ليست مبرمجة

للتعامل مع الاستجابة السريعة، وهي إما محدودة بالخطوة الزمنية المستعملة فيها، أو بالمرونة في وصف التحوّلات الكيميائية. وتبعاً لطريقة النشر (سكّيني أو تنقيطي)، فإن جميع النماذج الوحيدة البُعد تقريباً ليست قادرة على تحديد موسطات الشروط الحدية بدقة من أجل التقليد التفصيلي للمصدر الأصلي. ويمكن لحركة الغاز المفضّلة أو لتدفق الغاز بالحمل الناجم عن الضغط أن يكونا أيضاً عاملين في مراحل المحاكاة الأولى. وعلى وجه العموم، من المحدوديات الأخرى للمحاكاة بالنماذج الافتقار إلى موسطات فيزيائية كيميائية مقيسة خاصة بمركبات التدخين موضوع الاهتمام، وبالتربة التي تحتاج إلى نشرها فيها. وفي ما يخصّ تقدير التعرّض لها، ثمة حاجة إلى مزيد من البحث لمكاملة نماذج التدفق الخاصة بالتربة مع نماذج الانتشار في الهواء، ومن أمثلتها النموذج ISCST3. وثمة حاجة إلى بحث أيضاً يشتمل على المصادر المتعددة والموزّعة (أكثر من حقل مدخّن واحد) وعلى إسهاماتها الجماعية في تراكيز المدخّنات في الهواء خارج الموقع.

تنصّل من مسؤولية: لم يقصد من هذه المراجعة أن تكون شاملة لجميع النماذج أو بحوث النمذجة التي ظهرت منذ تسعينيات القرن العشرين. ولا ينطوي تضمينها لمنشورات ما أو استبعادها لأخرى على أيّ تقرّظ أو تجاهل لأيّ عمل تحتوي عليه في هذا المجال.

مراجع

Ajwa, H. A. & Trout, T. (2004). Drip application of alternative fumigants to methyl bromide for strawberry production. *HortSci.*, 39, 1707-1715.

Amali, S., Rolston, D. E. & Yamaguchi, T. (1996). Transient multi component gas-phase transport of volatile organic chemicals in porous media. *J. Environ. Qual.*, 25, 1041-1047.

Anderson, J. G., Toohey, D. W. & Brune, W. H. (1991). Free radicals within the Antarctic Vortex: the role of CFCs in Antarctic ozone loss. *Science*, 251, 39-46.

Ashworth, D. J. & Yates, S. R. (2007). Surface irrigation reduces the emission of volatile 1,3 dichloropropene from agricultural soils. *Environ. Sci. Technol.*, 41, 2231-2236.

Barry, T. A., Segawa, R., Wofford, P. & Ganapathy, C. (1996). Off-site air monitoring following methyl bromide chamber and warehouse fumigations and evaluation of the Industrial Source Complex-Short Term 3 air dispersion model. p. 178-188. In Seiber, J. N., Knuteson, J. A., Woodrow, J. E., Wolfe, N. L., Yates, M. V. & Yates, S. R. (ed.) *Fumigants: Environmental fate, exposure, and analysis*. Am. Chern. Soc., Washington, DC.

Butler, J. H. (1995). Methyl bromide under scrutiny. *Nature*, 376, 469-470.

Candole, B. L., Csinos, A. S. & Wang, D. (2007a). Distribution and efficacy of drip-applied metam sodium against the survival of *Rhizoctonia solani* and yellow nutsedge in plasticmulched sandy soil beds. *Pest Manage. Sci.*, 63, 468-475.

Candole, B. L., Csinos, A. S. & Wang, D. (2007b). Concentrations in soil and efficacy of drip-applied 1, 3-D + chloropicrin and metam sodium in plastic-mulched sandy soil beds. *Crop Protection*, 26, 1801-1809.

Carsel, R. F., Mulkey, L. A., Lorber, M. N. & Baskin, L. B. (1985). The pesticide root zone model (PRZM): a procedure for evaluating pesticide leaching threats to ground-water. *Ecological modeling*, 30, 49-69.

Carsel, R. F., Imhoff, J. C., Hummel, P. R., Cheplick, J. M. & Donigan, A. S. Jr. (1995). PRZM-3, A model for predicting pesticide and nitrogen fate in the crop root and unsaturated soil zones: Users Manual for Release 3.0; National Exposure Research Laboratory, Office of Research and Development, U.S. Environmental Protection Agency: Athens, GA.

CDPR or California Department of Pesticide Regulation (2006). Pesticide air initiative: strategy to reduce toxic and volatile organic compound emissions from *agricultural and commercial structural pesticides* (concept paper). Cal EPA, Sacramento, CA. Available at <http://www/cdpr.ca.gov/docs/empm/airinit/airinit.htm> (verified 15 Feb. 2007).

Chellemi, D. (2008). Field validation of a fumigant alternative to methyl bromide. Proc. 2008 International Research Conference on Methyl Bromide Alternatives and Emissions Reductions. Orlando, FL, 8, 1-2.

Chen, C., Green, R. E., Thomas, D. M., & Knuteson, J. A. (1995). Modeling 1,3 dichloropropene fumigant volatilization with vapor-phase advection in the soil profile. *Environ. Sci. Technol.*, 29, 1816-1821.

Cryer, S. A., Van Wesenbeeck, I. J. & Knuteson, J. A (2003). Predicting regional emissions and near-field air concentrations of soil fumigants using modest numerical algorithms: a case study using 1, 3-dichloropropene. *J. Agric. Food Chern.*, 51, 3401-3409.

Cryer, S. A (2005). Predicting soil fumigant air concentrations under regional and diverse agronomic conditions. *J. Environ. Qual.* 34, 2197-2207.

Daponte, T. L. F. (1995). Barrier films: Hytibar. *Acta Hort.*, 382, 56-66.

Gerik, J., & D. Wang. (2008). Dose response of *Agrobacterium tumefaciens* to soil fumigants. Proc. 2008 International Research Conference on Methyl Bromide Alternatives and Emissions Reductions. Orlando, FL, 110, 1-2.

Gan, J., Yates, S. R., Wang, D. & Spencer, W. F. (1996). Effect of soil factors on methyl bromide volatilization after soil application. *Environ. Sci. Technol.*, 30, 1629-1636.

Gan, J., Yates, S. R., Becker, J. O. & Wang, D. (1998a). Surface amendment of fertilizer ammonium thiosulfate. to reduce methyl bromide emission from soil. *Environ. Sci. Technol.*, 32, 2438-2441.

Gan, J., Yates, S. R., Wang, D. & Ernst, F. F. (1998b). Effect of application methods on 1,3dichloropropene volatilization from soil under controlled conditions. *J. Environ. Qual.*, 27, 432-438.

Gao, S., Trout, T. J. & Schneider, S, (2008). Evaluation of

fumigation and surface seal methods on fumigant emissions in an orchard replant field. *J. Environ. Qual.*, 37, 369-377.

Hutson, J. I. & Wagenet, R. J. (1992). LEACHM: Leaching estimation and chemistry model: A process-based model of water and solute movement, transformations, plant uptake and chemical reactions in the unsaturated zone. Version 3.0. Department of soil, crop and atmospheric sciences, Research Series No. 93-3, Cornell University, Ithaca, NY.

ISCST3. (1995). Users Guide for the Industrial Source Complex (ISC3) Dispersion Models, Vol. I – User's Instructions; U.S. Environmental Protection Agency, Office of Air Quality Planning and Standards Emissions, Monitoring, and Analysis Division: Research Triangle Park, NC, Sept 1995, EPA-454/B-95-003a.

Jury, W. A., Spencer, W. F. & Farmer, W. J. (1983). Behavior assessment model for trace organics in soil: I. Model description. *J. Environ. Qual.*, 12, 558-564.

Jury, W. A., Farmer, W. J., & Spencer, W. F. (1984). Behavior assessment model for trace organics in soil: II. Chemical classification and parameter sensitivity. *J. Environ. Qual.*, 13, 567-572.

Klose, S., Ajwa, H., Fennimore, S. A., Martin, F. N., Browne, G. & Subbarao, K. V. (2006). Dose response of weed seeds and soil-borne fungi pathogens to 1,3-D and chloropicrin. *Crop Protection*, 26, 535-542.

Li, L. Y., Johnson, B. & Segawa, R. (2005). Empirical relationship between use, area, and ambient air concentration of methyl bromide. *J. Environ. Qual.*, 34, 420-428.

Majewski, M. S., McChesney, M. M., Woodrow, J. E., Prueger, J. H. & Seiber, J. N. (1995). Aerodynamic measurements of methyl bromide volatilization from tarped and nontarped fields. *J. Environ. Qual.*, 24, 742-752. fields. *J. Envi4*, 742-2.

Martin, F. N. (2003). Development of alternative strategies for management of soilborne pathogens currently controlled with methyl bromide. *Ann. Rev. Phytopathology*, 41, 325-350.

Mazzola, M., & Mullinix, K. (2005). Comparative field efficacy of management strategies containing *Brassica napus* seed meal or green manure for the control of apple replant disease. *Plant Dis.*, 89, 1207-1213.

Mellouki, A., Tulukdar, R. K., Schmoltner, A. M., Gierczak, T., Mills, M. J., Solomon, S. & Ravishankara, A. R. (1992). Atmospheric lifetimes and ozone depletion potentials of methyl bromide (CH₃Br) and dibromomethane (CH₂Br₂). *Geophys. Res. Lett.*, 19, 2059-2062.

Montzka, S. A., Butler, J. H., Myers, R. C., Thompson, T. M., Swanson, T. H., Clarke, A. D. Lock, L. T. & Elkins, J. W. (1996). Decline in the tropospheric abundance of halogen from halocarbons: implications for stratospheric ozone depletion. *Science*, 272, 1318-1322.

Noling, J. W. (2008a). Large scale demonstration trialing of methyl bromide alternatives in Florida strawberry. Proc. 2008 International Research Conference on Methyl Bromide Alternatives and Emissions Reductions. Orlando, FL, 10, 1-5.

Noling, J. W. (2008b). Determining metham sodium lethal dosage for nematodes in grower field microplots. Proc. 2008 International Research Conference on Methyl Bromide Alternatives and Emissions Reductions. Orlando, FL, 45, 1-5.

Ou, L. T., Thomas, J. E., Allen, L. H., Jr., Vu, J. C. & Dickson, D. W. (2006). Effects of application methods of metam sodium and plastic covers on horizontal and vertical distributions of methyl isothiocyanate in bedded field plots. *Arch; Environ. Contam. Toxicol*, 51, 164-173.

Petersen, L. W., El-Farhan, Y. H., Moldrup, P., Rolston, D. E. & Yamaguchi, T. (1996). Transient diffusion, adsorption, and emission of volatile organic vapors in soils with fluctuating low water contents. *J. Environ. Qual.*, 25, 1054-1063.

Reeves, C. E. & Penkett, S. A (1993). An estimate of the anthropogenic contribution to atmospheric methyl bromide. *Geophys. Res. Lett.*, 20, 1563-1566.

Reible, D. D. (1994). Loss of methyl bromide to the atmosphere during soil fumigation. *J. Hazardous Materials*, 37, 431-444.

Reiss, R., & Griffin, J. (2006). A probabilistic model for acute bystander exposure and risk assessment for soil fumigants. *Atm. Environ*, 40, 3548-3560.

Roskopf, E. N., Church, G., Holzinger, J., Yandoc-Ables, C. & Noling, J. (2006). Efficacy of dimethyl disulfide (DMDS) for control of nematodes and fungal plant pathogens. *Phytopathology*, 96, S100.

Seiber, J. N. (2002). Environmental fate of pesticides. pp. 127. In: W. B. Wheeler (Ed.) *Pesticides in Agriculture and the Environment*, CRC Press, New York, NY.

Simunek, J. & Th. Van Genuchten, M. (1994). The CHAIN-2D code for simulating the two dimensional movement of water, heat, and multiple solutes in variably-saturated porous media. Version 1.1, Research Report No. 136. U.S. Salinity Laboratory, USDA-ARS, Riverside, CA.

Simunek, J., Sejna, M., & Th. Van Genuchten, M. (1999). The HYDRUS-2D software package for simulating two-dimensional movement of water, heat, and multiple solutes in variably saturated media. Version 2.0. IGWMC-TPS-53. Int. Ground Water Modeling Ctr., Colorado School of Mines, Golden, CO.

Simunek, J., Th. Van Genuchten, M. & Sejna, M. (2008). Development and applications of the HYDRUS and STANMOD software packages and related codes. *Vadose zone J.*, 7, 587-600.

Subbarao, K. V., Kabir, S., Martin, F. N. & Koike, S. T. (2007). Management of soilborne diseases in strawberry using vegetable rotation. *Plant Dis.*, 91,964-972.

Sullivan, D. A., Holdsworth, M. T. & Hlinka, D. J. (2004). Monte Carlo-based dispersion modeling of off-gassing releases from the fumigant metam[®]:sodium for determining distances to exposure endpoints. *Atm Env.*, 38, 2471-2481.

USEPA or U.S. Environmental Protection Agency. (2004). Fumigant bystander exposure model reviews: FERFUM Aug 24-25,

FEMS Aug 26-27, SOFEA Sept 9-10, 2004. *The Federal Insecticide, Fungicide, and Rodenticide Act (FIFRA) Scientific Advisory Panel (SAP) Reports*. US EPA, Washington, DC. Available at <http://www.epa.gov/scipoly/sap/meetings/2004/index.htm> (verified 19 Dec 2008).

Van Den Berg, F. & Boesten, J. J. T. I. (1998). Pesticide leaching and accumulation model (PESTLA), version 3.4, Description and user's guide. Winand Staring Centre, Agricultural Research Department, Wageningen, The Netherlands, 150 pp.

Van Den Berg, F., Smelt, J. H., Boesten, J. J. T. I. & Teunissen, W. (1999). Volatilization of methyl isothiocyanate from soil after application of metam sodium with two techniques. *J. Environ. Qual.*, 28,918-928.

Van Wesenbeeck, I. J., Knuteson, J. A, Barnekow, D. E. & Phillips, A. M. (2007). Measuring flux of soil fumigants using the aerodynamic and dynamic flux chamber methods. *J. Environ. Qual.*, 36,613-620.

Wagenet, R. J. & Hutson, J. L. (1987). LEACHM: Leaching estimation and chemistry model. A process-based model of water and solute movement, transformations, plant uptake and chemical reactions in the unsaturated zone. *Continuum 2. Dep. of Agronomy, Cornell Univ., Ithaca, NY*.

Wagenet, R. J., Hutson, J. L. & Biggar, J. W. (1989). Simulating the fate of a volatile pesticide in unsaturated soil: a case study with DBCP. *J. Environ. Qual.*, 18, 78-84.

Wang, D., Yates, S. R & Gan., J. (1997a). Temperature effect on methyl bromide volatilization in soil fumigation. *J. Environ. Qual.*, 26, 1072-1079.

Wang, D., Yates, S. R., Ernst, F. F., Gan, J. & Jury, W. A. (1997b). Reducing methyl bromide emission with a high barrier plastic film and reduced dosage. *Environ. Sci. Technol*, 31, 3686-3691.

Wang, D., & Yates, S. R. (1998). Methyl bromide emission from fields partially covered with a high density polyethylene and a virtually impermeable film. *Environ. Sci. Technol*, 32, 2515-2518.

Wang, D., Yates, S. R, Gan, J. & Jury, W. A. (1998). Temperature effect on methyl bromide volatilization: permeability of plastic cover

films. *J. Environ. Qual.*, 27, 821-827.

Wang, D., Knuteson, J. A. & Yates, S. R. (2000). Two-dimensional model simulation of 1,3 dichloropropene volatilization and transport in a field soil. *J. Environ. Qual.*, 29, 639-644.

Wang, D., Ernst, F. F., Yates, S. R. & Knuteson, J. A (2001). Volatilization of 1,3 dichloropropene under different application methods. *Water-Air Soil Pollut.*, 127, 109-123.

Wang, D., He, J. M. & Knuteson, J. A (2004). Concentration-time exposure index for modeling soil fumigation under various management scenarios. *J. Environ. Qual.*, 33, 685-694.

Wang, D., Juzwik, J., Fraedrich, S. W., Spokas, K., Zhang, Y. & Koskinen, W. C. (2005). Atmospheric emissions of methyl isothiocyanate and chloropicrin following soil fumigation and surface containment treatment in bare-root forest nurseries. *Can. J. For. Res.*, 35, 1202-1212.

Wang, D., He, J. M., & Knuteson, J. A. (2007). DripFume: a visual basic program for simulating distribution and atmospheric volatilization of soil fumigants applied through drip irrigation. *Computers Electronics Agric.*, 56, 111-119.

Woodrow, J. Seiber, J. N. & Dary, C. (2001). Predicting pesticide emissions and downwind concentrations using correlations with estimated vapor pressures. *J. Agric. Food Chem.*, 49, 3841-3846.

Yagi, K., Williams, J., Wang, N. Y. & Cicerone, R. J. (1993). Agricultural soil fumigation as a source of atmospheric methyl bromide. *Proc. Natl. Acad. Sci.* 90, 8420-8423.

Yagi, K., J. Williams, Wang, N. Y. & Cicerone, R. J. (1995). Atmospheric methyl bromide (CH₃Br) from agricultural soil fumigations. *Science*, 267, 1979-1981.

Yates, S. R., Gan, J., Ernst, F. F., Mutziger, A. & Yates, M. V. (1996a). Methyl bromide emissions from a covered field: I. Experimental conditions and degradation in soil. *J. Environ. Qual.*, 25, 184-192.

Yates, S. R., Gan, J., Ernst, F. F., Gao, F. & Yates, M. V. (1996b). Methyl bromide emissions from a covered field: II. Volatilization. *J. Environ. Qual.*, 25, 192-202.

Yates, S. R. Gan, J., Ernst, F. F. & Wang, D. (1996c). Methyl bromide emissions from a covered field: III. Correcting chamber flux for temperature. *J. Environ. Qual.*, 25, 892-898.

Yates, S. R., Wang, D., Ernst, F. F. & Gan., J. (1997). Methyl bromide emissions from agricultural fields: bare-soil, deep injection. *Environ. Sci. Technol.*, 3J, 1136-1143.

Zheng, W., Papiernik, S. K., Guo, M., Dungan, R. S. & Yates, S. R. (2005). Construction of a reactive surface barrier to reduce fumigant 1,3-dichloropropene emissions. *Environ Toxicol. Chern.*, 24, 1867-1874.

الفصل السادس

مبيدات الفطريات: كيميائها واستعمالها ونمط عملها

Md. Wasim Aktar^{1()} and Dwaipayan Sengupta²*

¹Department of Agricultural Chemicals, Bidhan Chandra Krishi
Viswavidyalaya,

Mohanpur-741252, Nadia, West Bengal, India

²Department of Agricultural Chemistry and Soil Science, Institute of
Agricultural

Science, University of Calcutta, Kolkata, West Bengal, India

تطور مبيدات الفطريات الزراعية

يُنظر إلى مبيدات الفطريات الزراعية من منطلق كيفية عملها وانتقائيتها.

الجيل الأول: تُستعمل في الزراعة الهندية الصادّات الحيوية الكيميائية الواسعة الطيف والواقيات السطحية، ومنها النحاس اللاعضوي والكوينين (Quinines) والثيوكاربامات الثنائية (Dithiocarbamate) والثاليميد (Thalimide) والكلوروثلونيل (Chlorothlonil) وغيرها.

الجيل الثاني: يعمل بوصفه واقياً سطحياً ويخترق نسيج النبات ليستأصل أو يكبت العدوى الحاصلة. ذو فعالية مفردة أو محدودة الموقع، ومن أمثله البنزيميدازول (Benzimidazole) والكاربوكسينيليد (Carboxinilides) والأسيلامين (Acylalamines) والصاد الإرعوستيرولي (Ergosterol) المركب حيوياً.

(*) المؤلف المراسل: wasim04101981@yahoo.co.in

الجيل الثالث: ليس ساماً للفطريات خارج الأنسجة الحية عادة، لكنه يتداخل مع المنظومات الفطرية الطفيلية بوجه خاص، ويقوّي آلية دفاع المضيف. وتنطوي الفاعلية من هذا النوع على أن هذه المركبات تصبح سامة للفطريات ضمن النبات المضيف، أو أنها تؤثرُ بالمفعول المرّضي للفطريات أو في مقاومة المضيف، ومن أمثلته المنيوم الفوسيتيل (Fosetyl-Al) والبروبندازول (Probendazole) ومثبّطات التركيب الحيوي للملانين (Melanin).

أنماط العمل الخاصة ببضعة من مبيدات الفطريات الجديدة

1. كربوكساميد ثنائي: تسبب المبيدات الفينكلوزولين (Vinclozolin) والإيبروديون (Iprodione) والبروسيميدون (Procymidone) عدم استقرار الانقسام الخيطي، وتتداخل مع وظائف الخلايا الحركية التي مثل التدفق السيتوبلازمي والحركة السُوَيْطية.

2. كربوكسانيليد: يمنع الكربوكسين (Carboxin) والكربوكسين الأكسجيني (Oxy-Carboxin) انتقال الإلكترون تحديداً من ثنائي هيدروجيناز السكسيني (Succinic Dehydrogenase) (SDS) إلى الإنزيم المشارك Q في منطقة المعقد II من مسار انتقال الإلكترون.

3. بنزيميدازول: يتفاعل مع بلمرة التبولين (Tubulin Polymerization) على الفطريات تحديداً، ونتيجة لذلك يُمنع الانقسام الخيطي والعمليات الأنوبية المكروية في السيتوبلازما.

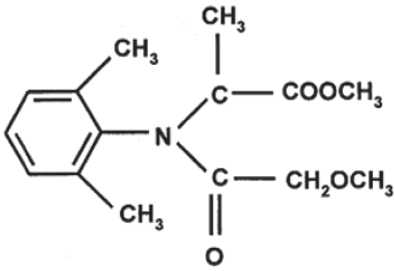
4. أسيلالامين: يُثبّط تركيب الرنا (RNA) تحديداً.

5. مثبّط التركيب الحيوي الإرغوستيرولي: البيريدين (Pyridine) والتريازول (Triazole) والإيميدازول (Imidazole) والمورفولين (Morpholine) والترياريمول (Triarimol)، وغيرها جميعاً تثبّط تفاعل إزالة مثيلة (Demethylation) ستيرول (Sterol C-14) القائم على السيتوكروم (Cytochrome P450)، وهو عادة أول تبديل في المسارات من اللانوستيرول (Lanosterol) إلى الإرغوستيرول (Ergosterol).

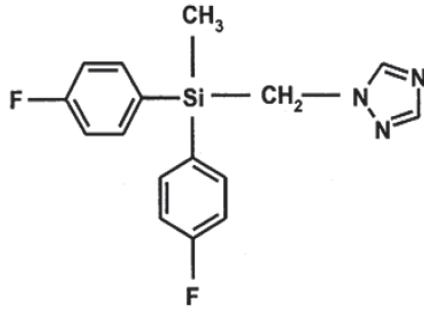
6. مثبّط التركيب الحيوي للميلانين: يُضيق ثلاثي السيكلازول (Tricyclazole) والبيروكوينون (Pyroquinone) وغيرهما طيف ضيق في الحدّ من المرض.

7. ألمنيوم الفوسيتيل: يتفكك هذا المركب ضمن نسيج النبات إلى حمض الفوسفور، ويقدم تفاعلات منع النخر (Necrosis)، مع تراكم متزايد للفينول في نسيج النبات حول موضع الإصابة، ونتيجة لذلك يتوقف تقدم العدوى.

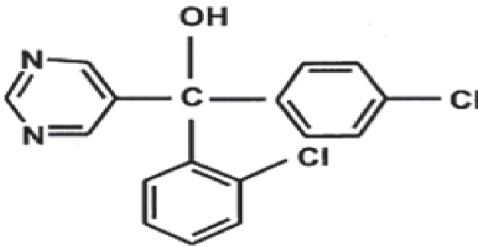
السمات البنوية لبعض جزيئات مبيدات الفطريات الجديدة



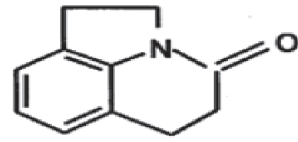
METALAXYL (Acylamine)



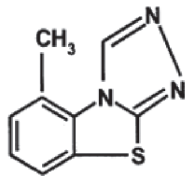
FLUSILAZOLE (Triazole)



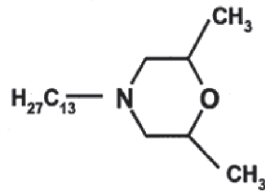
FENARIMOL



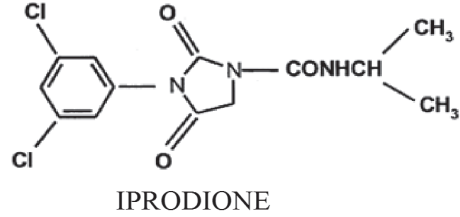
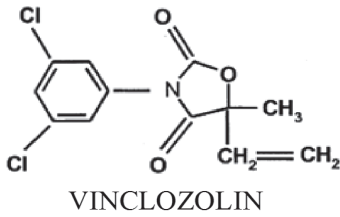
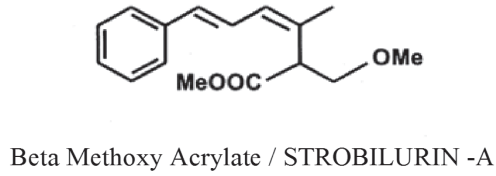
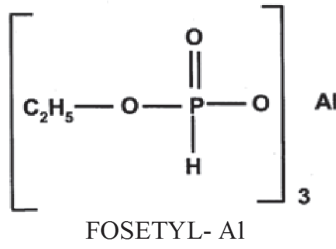
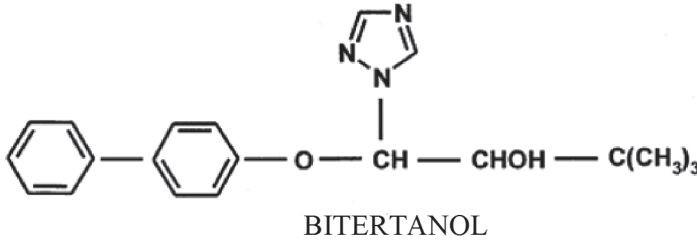
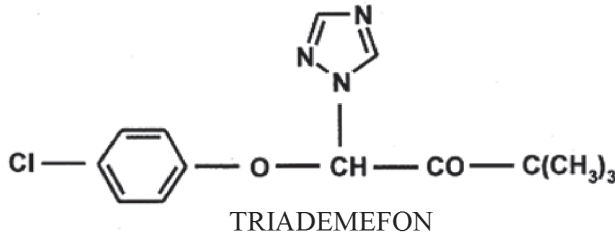
PYROQUILON



TRICYCLAZOLE



TRIDEMORPH



مقاومة الأمراض

تتألف مقاومة الأمراض من مكونين أساسيين هما المقاومة الأصلية أو غير النشطة، والاستجابة الدفاعية التي تسمى بالمقاومة النشطة.

بعض عوامل المقاومة غير النشطة:

1. وجود عوائق للمرض على سطح النبات.

2. وجود عوائق ضمن نسيج النبات تمنع الغزو من قِبَل العوامل المُمرضة.
3. عدم وجود ظروف تغذية كافية للعوامل المُمرضة.
4. وجود مضادات الأوكسين (Anti-Auxins).
5. وجود إنزيمات المضادات للفطريات.

وتعتمد المقاومة النشطة على تشكيل عوائق ما بعد العدوى أو على آلية الدفاع الكيميائي. وتُصمَّم إجراءات الدفاع المضادة لأمراض النبات بحيث تعزِّز أو تكوِّن مقاومة طبيعية وتحسِّن العوامل التي تتألف منها. ويمكن تحقيق ذلك بالحرارة والإجراءات الزراعية الجيدة واستعمال المغذيات النباتية وتنمية النباتات المقاومة. ويمكن تحقيقه أيضاً بطرائق المعالجة الكيميائية. ومن هنا تأتي حماية النباتات الكيميائية من الأمراض.

حماية النباتات كيميائياً

تبعاً لموضع المرض ومعالجته، يمكن تمييز مبيدات فطريات ورقية، ومبيدات فطريات تربة، ومبيدات لمعالجة البذور. ويمكن استعمال بعض الكيماويات للأغراض الثلاثة جميعاً.

تطبَّق مبيدات الفطريات الورقية على شكل غبار أو رذاذ على الأجزاء الهوائية الخضراء من النبات. وتُستعمل مبيدات فطريات التربة للقضاء على الفطريات التي تنمو فيها، ومنها المغزلاوية (*Fusarium*) والبيثيوم (*Pythium*) وغيرهما.

وهي مواد كيميائية من حيث طبيعة عملها، وتُنشر في التربة على شكل سائل أو مسحوق أو حبيبات جافة، وتعمل إما من خلال الطور البخاري أو الفعل الجهازي. ويمكن تحقيق إبادة العامل المُمرض على البذرة أو ضمنها، والحماية من ظهور المرض الناجم عن الفطريات التي تحملها التربة بمعالجة البذور أو الدرن قبل الزرع.

وتوصف مبيدات الفطريات بأنها واقية أو شافية أو استتصالية، تبعاً لطريقة عملها. تمنع مبيدات الفطريات الواقية غزو أبواغ الفطريات، إما بفعل مبيد للأبواغ، أو بتغيير البنية الوظيفية لسطح الورقة. ووفقاً لما يوحى به اسم المبيدات الواقية، يجب تطبيقها على النبات المضيف قبل حصول أي تماس بينه وبين الفطر المُمرض.

وإذا اخترقت خيطان الفطر نسيج النبات فعلاً، وكانت الخيوط الفطرية تنمو

بين الجليدة والقشرة الخارجية، لكن التكاثر والتبوغ لم يحصل بعد ضمن دورة تطوّر الفطر (2-12 يوماً بعد الغزو)، أمكن لاستعمال المبيد الفطري الشافي أن يدرأ المزيد من العدوى.

وتسمى المبيدات التي يمكن أن تحدّ من نمو الفطريات حتى بعد ظهور الأعراض (بعد التبوغ عادة)، وتقتل الأبواغ حديثة الولادة والخيطان، بالمبيدات المستأصلة. وبعض العوامل، مثل مشتقات البنزيميدازول والبيريدين والأوكزاثين وبعض أنواع التريازول وغيرها، هي مبيدات فطر جهازية، لأنها تنقل الأنشطة الموجودة في سطح اللحاء إما من الجذر إلى رأس الورقة أو العكس. والمزبة العظمى لهذه العوامل الجهازية هي أنها تحمي الجزء النامي الجديد من النبات من العدوى.

تصنيف مبيدات الفطريات

1. مبيدات فريات غير عضوية.
 - (i) نحاس (ii) كبريت
2. كوينين مهلجن.
3. معدنيات عضوية.
 - (i) زئبق عضوي
 - (ii) قصدير عضوي
 - (iii) نحاس عضوي
 - (vi) زرنيخ عضوي
4. فوسفات عضوي من قبيل الكيتازين (Kitazin) والهينوسان (Hinosan).
5. كحول كبريتي (مركبتان (Mercaptan) إثر كبريتي (ثيوإثر (Thioether)/أكسيد الكبريت) (Sulfoxide).
6. ثيوكاربامات (Thiocarbamate) أو بيسديثيوكاربامات (Bisdithiocarbamate).
7. مشتقات الكحول الكبريتي الألكيلي بيركلوري (Perchloro Alkyl (Mercaptan، مثل الكابتان (Captan) والفولبت (Folpet) وغيرها.
8. الكربوكزاميد (Carboxamide)، ومن أمثلته الفيتافاكس (Vitavax).
9. مشتقات النتروجين، ومن أمثلتها الدودين (Dodine).
10. البنزيميدازول.

قائمة ببعض مبيدات الفطريات الشائعة (A)، وجزيئات جديدة لمبيدات
الفطريات (B)، من أجل مكافحة أمراض النبات

(A). مبيدات فطريات عامة

المنتجات	المجموعة الكيميائية
Blitox, Bordeaux mixtures, sulfex etc Mercury: Agalol, Ceresan-M, PMAC etc. Kitazin, Hinosan Maneb, Zineb, Mancozeb, Ziram Captan, Difolatan, Folpet Vitavax / Carboxin Carbendazim Chloranil, Dichlone Penta chloro pheno, Dodine	1. مركبات نحاس غير عضوي / كبريت 2. مركبات معدنية عضوية 3. مركبات فوسفور عضوي 4. ثيوكاربامات 5. مشتقات الكحول الكبريتي الألكيلي البيروكلوري 6. كربوكزاميد 7. مشتقات البنزيميدازول 8. كينين مكلور 9. فينولات مكلورة 10. مشتقات الغوانيديين

(B). جزيئات مبيدات فطريات جديدة

المنتجات	المجموعة الكيميائية
Metalaxyl Flusilazole, thiabendazole, hexaconazole, quinconazole	1. مجموعة الأسيلاامين (Acylalamine) 2. مشتقات التريازول والإيميدازول (Triazole and Imidazole)
Bitertanol, Triodemefon	3. مجموعة الترايديمورف (Tridemorph)

Fenarimol	4. مجموعة ترياريمال (Triarimal)
Pyroquilon	5. مجموعة الكوينولاين (Quinoline)
Fosetyl- Al (alliet)	6. مشتقات فوسفونات الإيثيل (Ethyl phosphonate)
Mancozeb + Cymoxanil	7. كورزات (Curzate)
Vinclozoline	8. مجموعة الأوكزليدين (Oxazolidine)
Iprodione	9. مجموعة الإيميدازوليدين (Imidazolidine)
Strobilurin- A	10. بيتا ميثوكسي الأكريلات (β-methoxy Acrylate)
-----	11. فينوكسي فينيل الكوكزيمينو الأسيتات (Phenoxy Phenyl Alkoxyimino Acetate)
Topsin	12. ميثيل الترايوفانات (Triophanate Methyl)
Edifenphos	13. مشتقات الفوسفات الثنائية الكبريت (Dithiophosphate Derivative)
Diehefecarb	14. كربومات (Carbamate)

أسماء تجارية لمبيدات:

Bioderma: مضاد عفن الجذر والساق؛ Trichodermal: مبيد فطريات.
Biofile: العصويات الرقيقة (Bacillus Subtilis)؛ مبيد فطريات.
Biorin: مبيد حشرات وعصويات رقيقة (Beauveria Bassiana).
Bioact: مبيد حشرات، مبيد فراد، مبيد متسلسلة (Streptomyces)؛ تدمير الحبيبات الخطية.

Biovirus: مبيد حشرات ومنها دودة جوزة القطن والذرة؛ إنزيم خلية الشرنقة.

تعتبر الأمراض التي تسببها المتعضيات الممرضة عن نفسها بتغيير عمليات النبات نتيجة لتداخل العوامل الممرضة. ويحصل ضرر جزئي أو تام للنبات بعد غزو الطفيليات له. وتسمح المتطلبات المتدرجة للطفيليات من المضيف بتصنيفها على النحو الآتي:

1. طفيليات مُجبرة أو مقيّدة (Obligate): تعتمد في تغذيتها وتكاثرها كلياً على الخلايا الحية. وتقع الفيروسات وبعض أنواع الفطريات في هذه الفئة.

2. طفيليات حرة الاختيار (Facultative): تستمدّ معظم الفطريات والجراثيم غذاءها من الخلايا الحية في طورها الطفيلي، لكنها تستطيع العيش على مادة النبات الميت في طور التبوُّغ (غير طفيلية) ومن الممكن تنميتها في وسط صناعي أو طبيعي.

3. طفيليات قاتلة (Perthophyte): فئة خاصة تقتل المضيف أولاً لتعيش عليه. والطفيليات غالباً ما تكون شديدة التخصص، أي إنها تعتمد على مضيف معيّن وعلى جزء محدد من النبات لتبلغ مرحلة النضج. وتبعاً لخصائصها الاستيطانية، تصنّف بأنها طفيليات خارجية أو طفيليات داخلية. فالعفونة الذرورية البيضاء، أو عفونة الكرمة (Powdery Mildew) مثلاً، هي طفيليات خارجية لأنها تنمو على السطح الخارجي للمضيف. ومن الطفيليات الداخلية الجراثيم وبعض الفطريات التي تخترق النبات وتنتشر ضمن نسيجه.

الأمراض (Pathogenesis): يتكوّن المرض من مراحل مختلفة يصل إليها المضيف قبل ظهور المرض، وذلك تبعاً لنوع الطفيلي والمضيف.

العدوى: عملية أو ظرف تتحقّق فيه علاقة شرطية ملائمة معيّنة بين الطفيلي والنبات المضيف.

الفيروس: ينتقل من دون اعتراض من نبات إلى نبات، أو يدخل من خلال الجروح حيث يقوم هذا المتعضي بثقب الخلية بالمص.

الجرثوم: يدخل عبر الجروح أو إنزيمياً من خلال عدد من المناطق المتجلّدة التي مثل المسامّ وشعيرات الجذور في المضيف (آلية دفاع كيميائية).

المركبات غير العضوية

الكبريت غير العضوي (S)

عُرف مفعول الكبريت منذ مدة طويلة، وهو يُستعمل للتطهير المنزلي بعد حرقه. وافترن استعماله في الزراعة باسم فورسايت (Forsyth, 1802) الذي أوصي به لمكافحة مرض أشجار التفاح الناجم عن العفن الذروري (Powdery Mildew). وبدأ استعماله الواسع النطاق في بداية القرن التاسع عشر، ونظراً إلى

أنه رخيص الثمن وغير خطر على البيئة، بقي أكثر مبيدات الفطريات استعمالاً. وعنصر الكبريت هو مبيد فطريات واثق يعمل بالتماس. ويشتمل مجال تأثيره في العفن الذروري بالدرجة الأولى، إلا أن له مفعولاً قاتلاً للفطر الذي يسبب الجرب. وله تأثير ثانوي قوي في القراد. ولكن لم يُنظر في استعماله لمعالجة أشجار البساتين وكروم العنب المصابة بالسوس حتى ستينات القرن العشرين. ويمكن استعماله لوقاية معظم المحاصيل، باستثناء بعضها التي تتسمم به خاصة عند درجة حرارة 30°C في الطقس الجاف.

تستند طريقة عمل عنصر الكبريت S إلى عدد من النظريات:

تقوم النظرية الأولى على الخواص الفيزيائية للكبريت. فالكهرباء، التي تتولد حين تماس الكبريت الموجود في النبات مع أشعة الشمس التي تجمعها الأوراق، كانت أول مفعول يُفسر مفعول الكبريت السام. بعدئذ جرت محاولة تصنيف مفعول الكبريت المحلول في الماء. وبذلك كان سيمبيو (Sempio, 1932) الشخص الذي اقترح المفعول المباشر للكبريت. إن الكبريت نفور من الماء؛ أي إنه لا يذوب في الماء. وكان يُعتقد من قبل أن الكبريت ممنوع من النفاذ إلى الخلية، وأنه يجب أن يُحوّل إلى صيغة قابلة للانحلال بالماء. ولتحقيق ذلك ثمة إمكانيتان: (1) الأكسدة، و(2) الاختزال. يتأكسد الكبريت بفعل الحرارة والضوء ورطوبة الجو ويتحوّل إلى SO₂ و SO₃ وهما سامان. ووجد أن حمض الكبريت الخماسي (H₂S₅O₆) الذي يوجد في معلق مائي للكبريت، ذي نشاط حيوي. إلا أنه سريعاً ما نُقضت هذه النظرية من خلال ملاحظة أن المفعول السام لل حمض مركب الكبريت هذا هو مفعول مؤشر حمضي pH عملياً، وأن ملحه ليس ساماً للفطريات. وطوّرت نظرية الاختزال في نفس الوقت، أي جرى تكوين H₂S في نفس الوقت على خلايا الورقة التي عولجت بعنصر الكبريت. و H₂S قابل للانحلال في الماء، ومحلوله المائي قابل للنفاذ عبر جدار الخلية، وهو سام للفطريات. من ناحية أخرى، وجد العلماء أن H₂S ليس ساماً حين استعمال عنصر الكبريت S. وأخيراً باستعمال تكنولوجيا التعقّب الإشعاعي الحديثة وُجد أن مستحلب عنصر الكبريت S أكثر سمية بـ 5-50 مرة لأبواغ متعضيات فطرية معيّنة من كمية مكافئة من H₂S. وبذلك أُلغيت نظرية استعمال الـ H₂S. لذا فإن مفعول الكبريت المبيد للفطريات هو مفعول مباشر، وفسّر نفاذ عنصر الكبريت النفور من الماء إلى الخلية الفطرية بطرائق عدة بأن الأكسجين ينفذ عبر غشاء الخلية بسهولة، والكبريت هو العنصر التالي للأكسجين في الجدول الدوري، ولذا من المنطقي افتراض أن غشاء الخلية يجب أن يسمح بنفاذ عنصر الكبريت إلى حدّ أقل. ويحصل نفاذ الكبريت عبر المحتوى الدهني لأبواغ الفطر. ولذا

تؤثر نسبة الدهون في الفطريات المختلفة في حساسيتها، وقد تعزز هذا المفهوم في حيز من مفاعيل عنصر الكبريت.

مفعول الكبريت غير العضوي ضمن الفطر

في البداية، اقترحت عملية إنزيمية يحتوي فيها الفطر على المجموعة SH-. لكن التحري أظهر أن الغلوتاثيون (Glutathione) موجود في جميع المتعضيات الحية، وأنه يُرجع S وH₂S ضمن الأنسجة الحية وخارجها. إلا أن أعمالاً لاحقة أشارت إلى عملية إنزيمية داخل الجسم الحي تُري أن المركبات المحتوية على SH- مثل الغلوتاثيون والسيستين (Cystein) (وهو حمض أميني يحتوي على الكبريت) هي العوامل الوحيدة المشتركة في اختزال الكبريت العنصري S. والإنزيم مزيل للهيدروجين بطبيعته. ووجد أيضاً أن الكبريت الإنزيمي يتداخل في استقلاب سترات الأستات (Acetate Citrate). وبغية إيقاف نشاط الإنزيم المنخرط في تكوين جذر حرّ، يتفاعل العنصر S مباشرة مع كربون السيتوكروم ويختزله إلى H₂S. وقد وُجد أن عنصر الكبريت يمنع H₂S من أن يصبح إنزيمياً مسرعاً إرجاع هيدروجيني (Catalase) أو مؤكسداً لهيدروجين البيروكسيد (Peroxidase)، أو مؤكسداً أو مرجعاً للسيتوكروم (Cytochrome). وقد وُجد في ما بعد أن عنصر الكبريت يتداخل مع مسارات الاستقلاب فقط، وتبدو ظروف استقلاب أكسدة عفن الفواكه البني (Monilia Fusicola) أنها أيضاً، لا استقلابية. ويتوقف تركيب الدنا والرنا تقريباً، ويبدأ تركيب مقادير من أحماض الشحوم الحرة الدهنية والأحماض الأمينية. ويزداد تكوين الـ CO₂ أربعة أضعاف، ويزداد امتصاص الأكسجين بمقدار الضعف بتأثير عنصر الكبريت. وفي الواقع، لا يمكن تفسير مفعول الكبريت في الفطريات بطريقة واحدة، بسبب حصول عمليات كيميائية وكيميائية حيوية مفضلة. ويؤدي مقياس الجسيم دوراً مهماً في سمية الكبريت. إلا أنه قد ثبت أن المقياس الذي يقل عن 1 مكرون ضار من الناحية العملية. فالجسيمات الصغيرة تتأكسد بسرعة، وتزداد سميتها للنبات، وتزداد مدة تأثيرها أيضاً. وإلى جانب مقياس الجسيم، يؤدي الالتصاق بخلية النبات أيضاً دوراً مهماً في فاعلية الكبريت. وتوجد لعنصر الكبريت S ثلاثة أنواع من الصيغ. وقد استعمل في المراحل المبكرة بصيغة:

(1) غبارية: من أجل وقاية النبات، تُعتبر مقياساً جسيمات الكبريت S من 2 حتى

8 مكرون أكثر ملاءمة لتحضير الكبريت الغباري. فمقاس جسيماته الخشن يوفّر التصاقاً جيداً. ولزيادة الالتصاق، يُستعمل تلك الكاولينايت (Kaolinite Talc) أو البنتونايت (Bentonite) أو مسحوق الأردواز Slate لتركيب المستحضر. أما نسبة عنصر الكبريت في الغبار فتساوي 50%-90%.

واستعمل عنصر الكبريت S أيضاً بالصيغة:

(2) مسحوق قابل للبلل يحتوي على كبريت مسحوق ناعم مع خافض توتر سطحي ومواد مساعدة: توافر هذه الصيغة مقدرة جيدة على الانسياب والالتصاق. ونظراً لكون الكبريت نفوراً من الماء، تجب إضافة خافض توتر سطحي (عامل تبليل) لجعل جسيمات عنصر الكبريت قادرة على تكوين معلق مستقر في الماء. وتعتمد قابلية الانسياب على مقاس الجسيم. ويمكن الحصول على معلق كبريت مستقر مدة طويلة من جسيمات كبريت مقاسها 1 مكرون فقط. ويتحقق ذلك بطحن الكبريت في شبكة غروية (لها مقاس الجسيم) أو بتفكيك كيميائي يتفاعل فيه H_2S مع SO_2 فينتج كبريت عنصري ناعم تساوي مقاسات جسيماته 0.1-0.01 مكرون. ويحتوي مسحوق الكبريت المبلول 70%-80 من العنصر S. أما مزية هذا المستحضر فهي إمكان رشه المباشر بعد مزجه مع الماء. وهو متوافق مع مبيدات الحشرات والفطريات الأخرى.

(3) معجونة: أُدخِلت في الاستعمال حديثاً.

واستعمل الكبريت أيضاً في المنظومات المغلقة مدخناً، حيث يُبخّر فوق ماء ساخن أو في هواء حار أو ضمن بخار جاف.

عيوب الكبريت

قد يؤدي عنصر الكبريت في الماء الساخن إلى أذية، خاصة للنباتات الحساسة للكبريت. وتتجلى سميته للنباتات بالاختزال الصغير أو الكبير في التركيب الضوئي والتنفس النباتي. أما تجليات ذلك فهي احتراق الأوراق وتباطؤ شديد في النمو الورقي.

مشتقات ملح الكبريتات المتعدّد (Polysulphide Derivatives): هي أيضاً مبيدات فطريات فاعلة تُحصّر من القلويات والمعادن الأرضية القلوية (Alkali and Alkaline Earth Metal) بإضافة مزيد من عنصر الكبريت. ويتحرّر كبريت ملح الكبريتات المتعدّد على شكل كبريت عنصري S. إن سمية ملح الكبريتات المتعدّد

للفطريات أشد من سمية الكبريت العنصري، ويتعزّز القلوبيات سمية مشتقات ملح الكبريت المتعدد للفطريات. والكبريت الكلسي هو ملح كبريتات متعدد استعمل قديماً. وتركيبه هو CaS أو S_2 إلا أنه ليس مركباً متجانساً. وفي الأصل، كان يُصنع في البيوت، أما اليوم فيُنتج صناعياً على شكل معلق كبريت أو $Ca(OH)_2$ مركباً بمعزل عن الهواء. ويتفكك الكبريت الكلسي إلى H_2S . ولذا يُصنع على شكل محلول مائي لا تقل كثافته عن 1.8. أما عيوبه فهي أنه حاد جداً، ونسبة الماء العالية فيه تزيد من تكاليف نقله.

وجرى تصنيع منتج جاف يحتوي على 70% من CaS أو S_2 و 5% من S تحت اسم كبريت الكلس الجاف. لكن هذا المستحضر ليس متوافقاً مع مبيدات الحشرات الأخرى بسبب فعاليته الشديدة. وهو مبيد فطريات واقٍ من العفن الذروري، وله مفعول تخفيفي لسوس العنكبوت.

ولا يسبب الكبريت العنصري S مشكلة من الناحية البيئية، وهو ليس ساماً للبشر والحيوان، إلا أنه يهيج العين والبشرة.

ويتأكسد S في التربة معطياً SO_2 ، وذلك بواسطة متعضيات مكروية، مثل ثيوباسيلوس ثيوأكسيدانس (Thiobacillus Thiooxidans).

المركبات العضوية الزئبقية

استعملت مركبات الزئبق طويلاً في الطب بسبب خواصه القاتلة للجراثيم، واستعمل أيضاً مبيداً للفطريات المُمرضة للنبات. والكلوريد الزئبقي $HgCl_2$ (ثاني كلوريد الزئبق) مبيد جيد لأجناس فطر المغزلاوية، لكن بعد تأكسده إلى كلوريد الزئبق Hg_2Cl_2 . وتُستعمل مركبات الزئبق اللاعضوية قليلاً في وقاية النباتات بسبب سميتها لها عند تراكيز عالية، وهي تمنع الجرثومة حين استعمالها في معالجة البذور. وهي سامة أيضاً للحيوانات ذات الدم الدافئ. واستعملت مركبات الزئبق القديمة لمعالجة البذور، لكن استعمال مركبات الزئبق اللاعضوية تناقص تدريجياً حمايةً للبيئة. وهذا يدفع إلى البحث عن مواد زئبقية ذات مفعول مشابه، لكن بآثار جانبية ضارة أقل بغية استعمالها كمبيدات للفطريات. ومن أجل معالجة البذور، والمعالجة في ما بعد العدوى، استعمل وفقاً لهذا المبدأ مركب صيغته العامة هي $RHgX$ (R ترمز للهيدروكربون، و X ترمز لمجموعة ذرية انفصالية تنشأ من مركبات عضوية أو غير عضوية من مثل الحمض والأمين والثيول والفينول).

ولا يوجد مفعول مبيد للفطريات أو الجراثيم في زئبق ثنائي الألكيل المتناظر. أما مركبات الزئبق العضوية، فسوف تُناقش في ثلاث مجموعات رئيسية:

1. مركبات زئبق القلي (Alkyl).

2. مركبات زئبق قلي الأوكسجين (Alkoxy).

3. مركبات زئبق الأريل (Aryl).

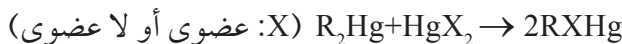
والمركبات الهيدروكسية قابلة للانحلال بالماء نسبياً عادة. والتطير مهم في الفعالية الحيوية لمركبات الزئبق العضوية التي يمكن إرجاعها بسهولة. وتختلف حساسيتها لعوامل الإرجاع بين المركبات المفردة، إلا أنه يمكن اختزال كل مشتق إلى الزئبق العنصري بخطوتين.

مركبات زئبق القلي

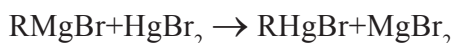
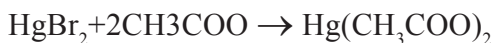
تتصف المركبات التي تحتوي على مجموعة القلي (Alkyl) مع عدد كربون منخفض بمفعول مبيد للفطريات أقل من مفعول المركبات المحتوية على عدد أكبر من ذرات الكربون. وزئبق الإيثيل والميثيل مهمان.

والألكيل المهلجن (Alkyl Halogenide) أو ألكيل الفوسفات يتفاعل مع الزئبق أو خلائط الصوديوم الزئبقية معطياً مركبات زئبقية. ويتسرع التفاعل بالضوء.

1. يمكن تحويل صيغ مشتقات زئبق ثنائي الألكيل إلى ملح زئبق ألكيلي عضوي أو غير عضوي.

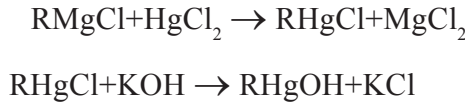


ويمكن تحضير مركبات زئبق الألكيل بتفاعل ملح زئبقي مع مركب عضوي معدني. ويمكن الحصول على مشتقات زئبق الألكيل من بروميد ألكيل المغنيزيوم.



ويمكن تفكيك أملاح زئبق الأحماض العضوية إلى أملاح زئبق ألكيل بواسطة الماء H_2O_2 .

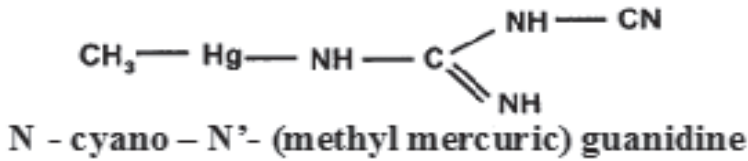
وتتصف كلوريدات زئبق الألكيل بأنها متكونة وقابلة للانحلال في الماء وشديدة التطاير وسامة، ولذا يجب تداولها بحذر شديد. ويمكن فصل الهالوجين بالـ KOH أو الـ NaOH وتحويله إلى مركبات هيدروكسية.



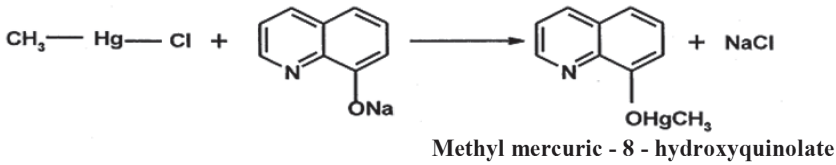
يمكن استعمال الهيدروكسيدات مبيدات فطرية.

ويوجد لـ CH_3CH_2HgCl مجال واسع من الاستعمالات في معالجة البذور. وجرعة الـ 50% الفموية القاتلة LD_{50} منه تساوي 30 mg/kg.

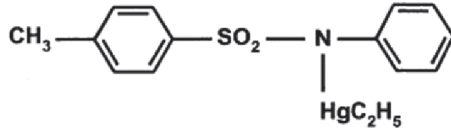
2. ثمة مركب آخر هو ميثيل زئبق ديسيانو دياميد (Methyl Hg di-cyano diamide).



3. ويُستعمل لمعالجة البذور بالدرجة الأولى.

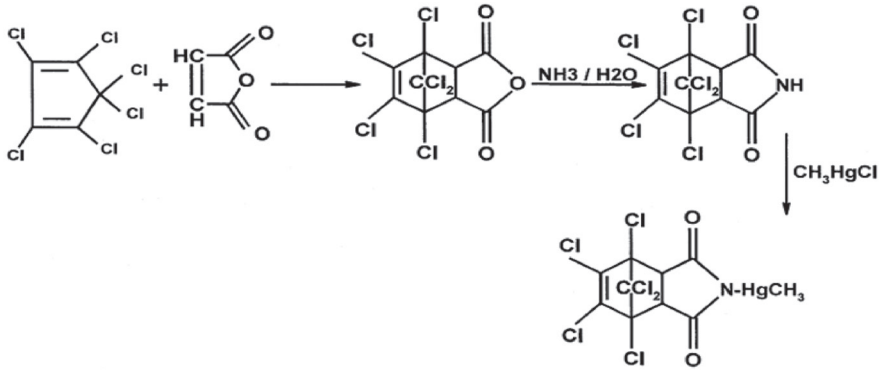


4. وهذا مبيد للفطريات يمكن تحضيره من ملح صوديوم ذي 8-hydroxy quinoline. أما قيمة LD_{50} فهي 72mg/kg، ويُستعمل لمعالجة بذور الحبوب في المقام الأول.



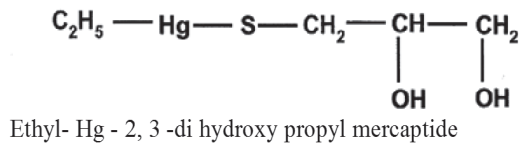
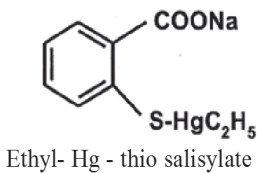
N - Ethyl Hg - p- toluene sulfonanilide

5. من مركبات زئبق الألكيل، يمكن استعمال المشتق - N- alkyl Hg 3,4,5,6,7,7 - hexachloro- 3,6 - endomethano - 1,2,3,6- tetrahydro pthalimide مبيداً لفطريات أوراق النبات ولمعالجة البذور. وهو يتصف بفعالية قاتلة وواقية للعضن الذروري وغيره من أنواع الفطور. ومشتقات الميثيل والإيثيل تنحل في الماء بسهولة، وهي ليست متطايرة.



يُعالج المركب بالماء لتكوين الإيميد وينحل في مذيب من كلوريد زئبق الميثيل أو الإيثيل.

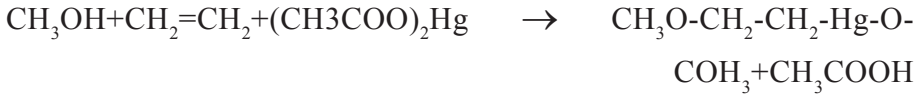
6. ويجب أخذ مركب آخر من هذه السلسلة في الحسبان (ethyl- Hg thio salisylate and ethyl - Hg - 2,3-di hydroxy propyl mercaptide)



1. مركبات زئبق ألكيل الكوكسي (Alkoxy alkyl Hg compounds)

أسيتات إيثيل ميثوكسي الزئبقية (Methoxy Ethyl Mercuric Acetate)

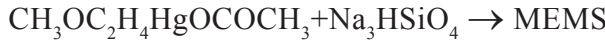
(MEMA) تنحلّ في الماء بسهولة وتُستعمل في معالجة البذور.



قابلية انحلال هذا المركب في الماء تساوي 5٪، لذا يُعتبر مادة فعالة للمعالجة المبلولة للبذور، وهو مبيد فطريات واسع الطيف. وتُمكن معالجة جميع أنواع البذور به، وهو مستقر نسبياً في وسط الألكلاين المعتدل، أما في الوسط الحمضي فيتفكك. وقيمة جرعة الـ LD₅₀ منه تساوي 3 mg/kg.

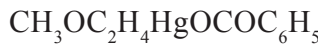
2. سليكات زئبق ميثوكسي الإيثيل (Methoxy Etbyl- Hg - Silicate)

المركب (CH₃OC₂H₄Hg)₃HSiO₄ غير قابل للانحلال في الماء تقريباً، وهو مستقر في الوسط المحايد ووسط الألكلاين المعتدل، ويتفكك في الوسط الحمضي. ويُحصّر من محلول مائي لسليكات الزئبق وأسيتات زئبق ميثوكسي الإيثيل. وقيمة LD₅₀ فيه تساوي 75 mg/kg.



3. وثمة مركب آخر هو بنزوات زئبق ميثوكسي الإيثيل (Methoxy ethyl Hg

benzoate) الذي يُستعمل لمعالجة البذور، خاصة بذور الخيار.



مركبات أريل الزئبق (Aryl Hg)

تنتمي هذه المركبات إلى السلسلة العطرية، وتُستعمل بالدرجة الأولى لمعالجة البذور ومبيدات فطريات أوراق النبات، خاصة أمراض الرز الفطرية. وقد اختُبر عدد من هذه المركبات وثبت مفعولها. وتعتمد سميتها على جذر عطري بالترتيب .Phenyl> O-P tolalyl > ethyl> naphthyl

1. أسيتات فينيل الزئبق (Phenyl-Hg-acetate): هذا هو المركب الأساسي في

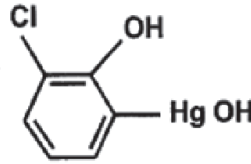
تحضير المركبات العطرية، وهو يُحصّر بتفاعل البنزين (Benzene) مع أسيتات

الزئبق. وهو مبيد فطريات جيد لمعالجة البذور. وتساوي جرعة الـ 50٪

القاتلة منه LD_{50} (17-20) mg/kg. وهو يتصف ببعض السمية للإنسان والحيوان من طريق الجلد.

2. كلوريد فينيل الزئبق (Phenyl-Hg-chloride): يمكن ترسيب هذا المركب من محلول مائي لأسيئات فينيل الزئبق مع كلور الصوديوم NaCl. وهو قابل للانحلال في الماء قليلاً، وأقل سمية للنبات من الأسيئات. ويمكن استعماله لمعالجة البذور وأوراق النبات، خاصة في مواجهة الجرب. وتساوي قيمة LD_{50} الفموية منه 40 mg/kg.

3. وثمة مركب آخر هو:



3 Chloro- 2 - hydroxy phenyl-Hg- hydroxide.

وهو مادة فاعلة على شكل مسحوق أبيض وله رائحة كرائحة الفينول. وهو قابل للانحلال في الماء قليلاً، وفعالٌ في مواجهة آفات البذور وأمراضها الفطرية. وهو فعالٌ أيضاً في مواجهة فطريات وجراثيم التربة.

أنماط العمل

يتميز الفعل الحيوي لهذه المركبات بتفاعل مجموعة الثيول (الكبريت الكحولي) في المتعضي. فالمتعضيات الحية تحتوي على عدد كبير من مجموعات هيدريل الكبريت (Sulf-Hydrile) ذات الأهمية الكبرى، ولذا لا تحصل عمليات انتقائية ذات مفعول زئبقي سام. ويمكن تفسير سبب أن الفطر نادراً ما يكون مقاومة لمركبات الزئبق أثناء الاستعمال الطويل الأجل بالخواص العامة لهذه المركبات. وعلى العموم، فإن من المقبول أن الفعل الحيوي لهذه المركبات مع مجموعة الثيول معقد إلى حد ما.

وثمة أيضاً فرق في نمط عمل مركبات الزئبق العضوية وغير العضوية. تتصف الأيونات Hg^+ عموماً بأنها مثبِّط إنزيمي أكثر كفاءة من مركبات الزئبق العضوية.

لكن مركبات الزئبق العضوية هي مبيدات فطرية أقوى بسبب قابلية انحلالها في الدهون، أي إنها تحترق خلية الفطر بسرعة أكبر. لذا فإن الطبيعة الرئيسية لـ R في مركبات الزئبق العضوية سوف تحدّد كفاءة المركّب. وتتصف مركبات أريل الزئبق بأنها قليلة السمية للنبات، وذات مفعول جهازى صغير، ويمكن استعمالها أيضاً مبيدات لفطريات أوراق النبات. ويُفترض في نمط العمل أن الزئبق المعدني يتكوّن في التربة بالاختزال الزئبقي، وعلى غرار الأيونة Hg^+ تماماً، يتداخل مع النشاط الإنزيمي لمجموعة المركابتو (Mercapto) التي تحتوي على إنزيمات. وجرى التأكيد في إحدى الدراسات أيضاً أن ملح الزئبق العضوي يتفكك بسرعة إلى زئبق معدني في التربة بالاختزال، وهذا التفاعل المناسب ليس إلا إعادة ترتيب تقريباً من خلال الـ $HgCl_2$.

مركبات الزرنيخ السامة للفطريات

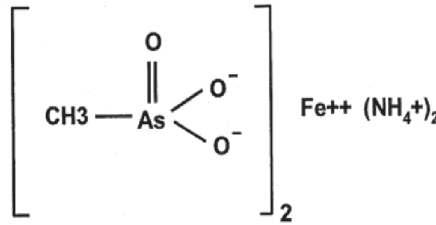
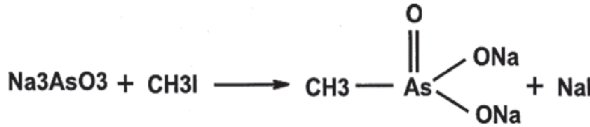
تتصف مركبات الزرنيخ بأنها شديدة السمية للنبات والإنسان أيضاً. ونتيجة لذلك استُعيض عنها بمركبات أخرى مبيدة للفطريات على نحو متزايد. ومن مركبات الزرنيخ غير العضوية المبيدة للفطريات زرنِيخات الرصاص $PbHASO_4$ التي استُعملت لمنع حدوث جرب التفاح، ويُستعمل خليط من زرنِيخات الرصاص أيضاً مع الكبريت الكلصي على نطاق واسع مبيداً للفطريات والحشرات في زراعة الفواكه. ويُعزى مفعوله إلى القابلية الشديدة لانحلال صيغة زرنِيخ كبريت الكالسيوم في الماء، وثمة تقارير تفيد بأن أملاحه مع الكالسيوم فعالة في مكافحة النوباء (Alternaria). وقد نوقش مفعول مركبات الزرنيخ العضوية في إبادة الفطريات في المنشورات، إلا أن الآلية الدقيقة لعملها لم تُحدّد بعد.

وتتصف مشتقات الزرنيخ الثلاثية التكافؤ بسُمّية أشدّ من سُمّية مشتقاته الخماسية التكافؤ. فالمشتقات الثلاثية التكافؤ تمنع بقوة النشاط الإنزيمي المؤكسد لحمض الزرنيخ. وقد أُثبت أيضاً أن مركبات الزرنيخ تتفاعل في المتعضيات الحيوانية مع مجموعة هيدريل كبريت المشتقات الثيولية الثنائية الخاصة بحموض ألفة الليبوية (Lipoic) التي تمثّل عوامل مشتركة في عملية أكسدة حموض ألفة الكيتونية. وعلى ما يبدو فإن هذا هو أساس مفعول إبادة الفطريات والجراثيم في مركبات الزرنيخ العضوية.

إن سُمية مركبات الزرنيخ العضوية معتدلة، لكن نتيجة لآلية تفكُّكها، تتحلَّل في التربة إلى مركبات زرنيخ غير عضوية شديدة السُّمية. وتوجد هذه الأيضيات أيضاً في النبات والحيوانات ذات الدم الدافئ الموجودة في التربة.

وأهم مركبات الزرنيخ العضوية هي أملاح حمض الزرنيخ Fe^{++} و NH_4 غير القابلة للانحلال في الماء، والمستقرة في الظروف القلوية وتتفكَّك في وسط حمضي. وتساوي الجرعة القاتلة منها (LD_{50}) 1000 mg/kg.

وتُحضَّر هذه الأملاح بواسطة زرنيخ الصوديوم (Sodium Arsenite) ويوديد الميثيل (Methyl Iodide).

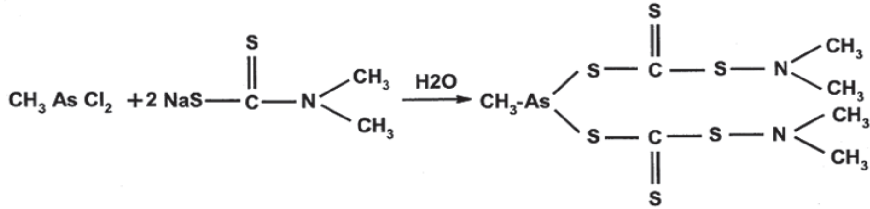


يُستعمل هذا الملح للوقاية من بعض الأمراض الفطرية في الرز.

وثمة مرَّكَّب آخر هو كبريتيت زرنيخ الميثيل (Methyl Arsenic Sulphite) المستعمل بوصفه مرَّكَّباً لوقاية البذور. فهو يحدِّد على نحو فاعل من الريزوكتونيا سولاني (Rhizoctonia Solani).

وثمة مرَّكَّب آخر هو ديلبيس أرسين الميثيل (كربومات ثنائي الثيو ثنائي الإيثيل) (Methyl Arsenic Diyl bis) (Diethyl Dithio Carbamate)، وهو كريستال أبيض غير قابل للانحلال في الماء ويُستعمل في البساتين وأشجار الفواكه لمكافحة أجناس الفنتوريا (Venturios Sp). ويُستعمل أيضاً في حقول الرز ومزارع البن، وفي مكافحة الأمراض التي تسببها فطريات هيوكنوس ساساكي (Hypochnus Sasaki). وهو يتصف بخاصية فريدة هي زيادة كثافة اللون الأحمر والأصفر في

التفاح. وهو سام للنبات عند تراكيز بين 0.1 و 0.2%، وفاعل في مكافحة جرب التفاح، ويُستعمل أيضاً لأغراض مختلفة مع الثيورام (Thiuram) والتيراميثيل ثيورام ديسولفات (TMTD) (Tetramethyl Thiuram Disulfide).



Bis (dimethyl thio carbamoyl thio) methyl arsine

مركبات الفوسفات العضوية

اكتُشف المفعول الحيوي المهم لمركبات الفوسفات العضوية باكراً، إلا أن دراسات خواصها القاتلة للفطريات والجراثيم لم تبدأ حتى عام 1960. واليوم يوجد عدد من مركبات الفوسفات العضوية ذات البنى المختلفة، ومن بينها أكثر من 100 نوع معترف بمفعوله المبيد للفطريات بشكل أو بآخر. ومن بين تلك المشتقات ثمة بضعة مواد تُستعمل في الحقل بسبب سُميتها النباتية الشديدة. وتتصف مركبات الفوسفات العضوية ذات الخواص القاتلة للفطريات بأنها شديدة الانتقائية لأجناس الفطريات.

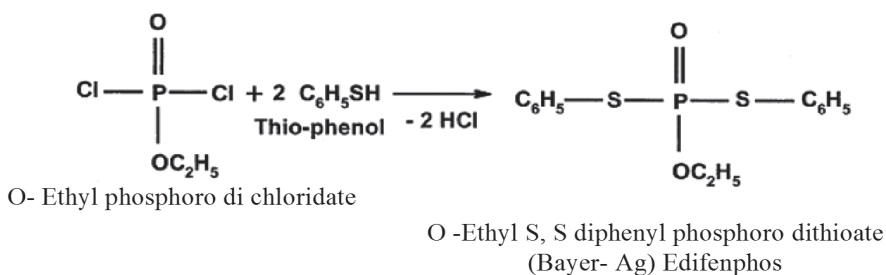
نمط العمل

ما زالت طريقة عمل مركبات الفوسفات العضوية ذات الخواص القاتلة للفطريات غير معروفة تماماً حتى الآن. والصعوبة الرئيسية في ذلك هي أن مفعولها في المتعضيات المكروية شديد الانتقائية، وطريقة عملها متخصصة جداً أيضاً. ولذا ليست ثمة من نظرية عامة عن نمط عملها.

لا شك في أن مركبات الفوسفات العضوية قاتلة للحشرات عموماً، لكن من مقارنة مشتقات الفوسفات بمركبات الكبريت والكبريت المتعدد، يمكن استنتاج أن تأثير المشتقات المحتوية على عنصر الكبريت أقوى دائماً. ويرتبط أحد الأنماط الممكنة لمفعول إبادة الفطريات باضطرابات عمليات الأكسدة والاختزال في خلية الفطر.

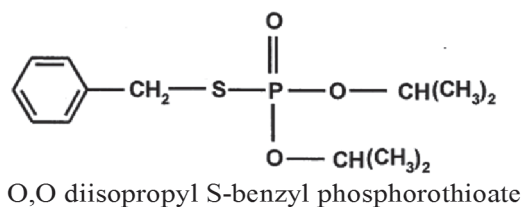
وأكثر من ذلك أنه يُفترض أن المشتقات المحتوية على عنصر الكبريت تربط الحموض النووية في موقع جذر الفوسفات وتتداخل مع وظيفته العادية. وتزداد خواص مركبات الفوسفات العضوية القاتلة للفطريات مع ميلها نحو تكوين مركبات مخلب (Chelate) معدنية. وهذه ظاهرة مميّزة للمشتقات المحتوية على مجموعات أمينية يمكن أن تكوّن مخلب مع العنصر المكروي اللازم لعمل خلية الفطر الطبيعي. ويؤثر بعض مركبات الفوسفات العضوية في الاستقلاب الفطري بالفسفرة المباشرة (تُدخل اضطراباً في الاستقلاب الطبيعي)، أي بتكوين مركبات الفوسفات الثنائية الكبريت (Dithiophosphate).

1. هينوسان (Hinosan) [مبيد بالهندية]:



وهذا مبيد فطريات واقٍ للحد من فطر الرز. وتساوي جرعة الـ 50% القاتلة منه 218 mg/kg.

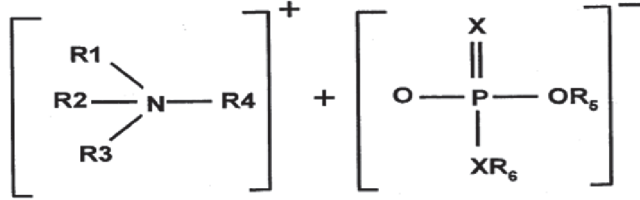
2. كيتازين (Kitazin):



وهو مبيد فطريات واقٍ وشافٍ للرز، وقاتل لحشرات نخر ساق الرز، وجراد الأوراق والنبات، وينتقل بفعالية عبر الجذور والأوراق. وتساوي جرعة الـ 50% القاتلة منه 490 mg/kg.

وإحدى مجموعات مركبات الفوسفات العضوية المبيدة للفطور هي ملح

الأمونيوم الرباعي الذي يتصف بخواص قاتلة للفطور والجراثيم. ونتيجة لسميته النباتية الشديدة لا يمكن تطوير مادة نشطة منه لاستعمالها في وقاية النبات. إلا أنه واعد في المعالجة الطبية للحوانات، لأنه غير سام للحوانات ذات الدم الدافئ.



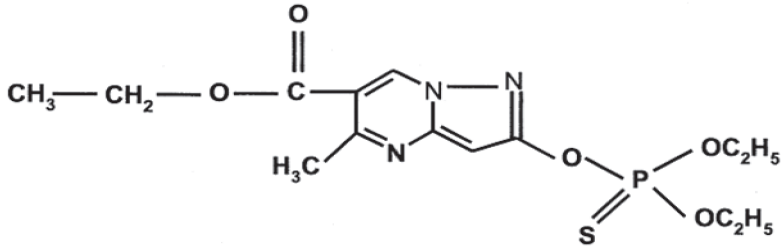
R1R6 alkyl or aryl radicle

ويُبدى الكثير من مركبات الفوسفور الثلاثية التكافؤ، مثل فوسفات الألكيل الثلاثي (Tri-Alkyl Phosphate) أو ثلاثي كبريتات فوسفور الألكيل الثلاثي (Tri-Alkyl Phosphorothioate) خواصاً قاتلة للفطريات بسبب خصائصها الاختزالية وتفاعليتها الشديدة. وهذه المركبات شديدة السمية للنبات ولا تُستعمل تجارياً كثيراً.

1. ومن المركبات الفعالة فوسفاثيونات كلوروفينيل -4- كبريت - ميثيل سياكلوهيكسيل - أكسجين (O-Methyl Cyclohexyl-S-4-Chlorophenyl Phosphorothioate) من شركة باير (Bayer). عند تركيز يساوي 5-100 kg/mg، يحمي هذا المبيد الرز من البيريكلاريا (Pyricularia). وهو يتصف بمفعول شافٍ أيضاً. ويمكن تحضيره بتفاعل فوسفات سايكلوهيكسيل الميثيل (Methyl Cyclohexyl Phosphate) مع 4-كلورو -1- ثيوكلورو بنزن (4-Chloro-1-Thiochloro Benzene). أما اسمه التجاري فهو سيريساين (Ceresine)، وتساوي جرعة الـ 50% القاتلة منه 160 mg/kg.

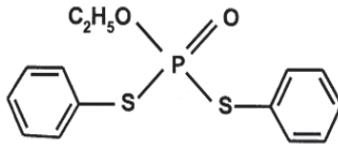
2. وثمة نوع جديد من مركبات الفوسفات العضوية ذو مفعول في العفن الدروري وفطر بيريكولاريا الرز (Pyricularia Oryzae)، هو (O-6-Ethoxy Carboxyl-5-Methyl Pyrazolo-1,5-Pyrimidine-2-yl-O,O-Diethyl Phosphorothioate). وهو مادة فاعلة تؤمن حماية جيدة من العفن الدروري ويمكنها منع تطوّر الفطر مدة تصل حتى اليوم الخامس من العدوى به. وهي تتصف بمفعول جهازى، ويمتصها النبات بسرعة عبر كل من الأوراق والجذع من المكان الذي تنتقل إليه عبر النبات. أما امتصاصها عبر الجذر فهو أبطأ.

والبيرازوفوس (Pyrazophos) ليس ملائماً لمعالجة البذور ومكافحة فطريات التربة، وهو ليس ساماً للنبات. وتساوي قيمة جرعة الـ 50% القاتلة منه 140 mg/kg. وهو سام للمتعضيات ذات الدم الدافئ، ويتصف أيضاً ببعض الخواص المبيدة للحشرات والفطريات والديدان الخيطية.



وفي مجموعة الفوسفوروثيات (Phosphorothioate)، تؤدي زيادة عدد ذرات عنصر الكبريت التي ترتبط بذرة عنصر الفوسفور إلى زيادة مفعولها المبيد للفطريات. لذا كان ثلاثي كبريتات فوسفور الألكيل (Tri-alkyl Phosphoro Di Thioates) البسيط أكثر قوة. إلا أنها تنطوي على بعض المحدوديات في كثير من الحالات.

3. يتصف حمض فوسفور كبريت الألكيل الثنائي والثلاثي (di and tri alkyl thio phosphoric acid) بأنه أكثر تحملاً من قبل النبات، ومن أمثله الإيديفنفوس (Edifenphos). وتساوي قيمة جرعة الـ 50% القاتلة منه 218 mg/kg. وهو عملياً (O-ethyl-S,S-diphenyl phosphorothioate).



وهو فاعل في مكافحة فطر بيريكولاريا الرز، ويُسوّق بوصفه مبيداً. وإضافة إلى مفعوله الوقائي، يقتل الفطريات في نسيج الأوراق بعد عدة أيام من العدوى ويمنع انتشارها. ويتصف بسُمّية معتدلة للحيوانات ذات الدم الدافئ. وتساوي قيمة جرعة الـ 50% القاتلة منه 340 mg/kg.

وهو جيد التحمُّل من قبل الرز. ويمكن أن يُؤثِّر في نفاذية غشاء الخلية، ويمنع تركيب مادة الكيتين (Chitin). والخطوة الرئيسية في استقلابه هي حلمهة الرابط فوسفور - كبريت 1، ويتبع ذلك رابط فوسفور - كبريت آخر. ويتكوَّن في النهاية حمض الفوسفور.

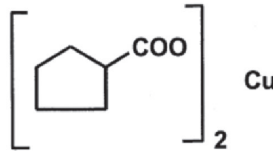
وهو يتفكَّك في التربة المغمورة بالماء بسرعة أكبر من سرعة تفككه بترتبه مغمورة بنسبة 50% من مقدرتها على الاحتفاظ بالماء. وتستعمل سلالة من الزائفة (Pseudomonas) الإيديفنوس بوصفه مصدراً وحيداً لـ CO₂. ويُرجع تعقيم التربة تفكَّك الإيديفنوس.

مركبات النحاس العضوية

على غرار أملاح النحاس اللاعضوية، تتصف أملاح النحاس العضوية بأنها مبيدات فطريات واسعة الطيف، وهي تُستعمل لرش أوراق النبات. وهي أقل سُمِّية للنبات من أملاح النحاس اللاعضوية.

وظهرت هذه المركبات، بوصفها مبيدات لفطريات أوراق النبات، في عام 1964 على شكل مزيج من أملاح النحاس وأحماض دهنية عُرف تجارياً بـ Cifcof-4E (لينوليت النحاس (Cu linoleate)). وهو يتألف من 20-25% من أبيتات النحاس (Cu Abietate)، و 8-12% من لينوليت النحاس، و 10-15% من أوليات النحاس (Oliate)، ويُستعمل لمكافحة מזنبة الأبواغ البقدونسية (Cercospora) والعفن الذَّروري وفطر عفن البطاط (Phytophthora) والأمراض الجرثومية.

ويُستعمل أوليات النحاس (Cu) ((H₃C-(CH₂)₇-CH=CH-(CH₂)₇-COO) لإبادة الفطريات بدلاً من مزيج بوردو (Bordeaux). وبسبب سُمِّيته المنخفضة يمكن استعماله على نطاق واسع طوال موسم المحصول. وهو يعمل حافظاً للخشب أيضاً. وثمة مركب آخر هو كربوكسيلات سايكلوبنتان النحاس (Cu- Cyclopentane Carboxylate) يُستعمل على نطاق واسع حافظاً وواقياً من النمل الأبيض.

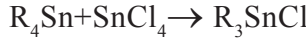
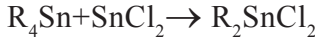
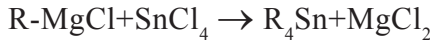


وهو يسمَّى نابتوكس (Naptox) أيضاً.

مركبات القصدير العضوية

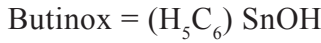
وهي الأنواع R_2SnX و R_2SnX_2 ذات النشاط الحيوي الواسع، وتُستعمل مبيدات حشرات، خاصة لمكافحة النوباء وفطر عفن البطاطا ومدنبة الأبواغ البقدونسية، وتتصف بفاعلية إبادة شديدة للجراثيم، وتُستعمل حافظة لمبيدات الحشرات التجارية.

ويجري تركيبها بتفاعل كلوريد القصدير مع مركبات المغنيزيوم العضوية ومركبات الليثيوم العضوية ومركبات الصوديوم والألمنيوم، وما يليها من تفاعلات لامتجانسة.



ويمكن الاستعاضة عن Cl بعدد كبير من أليفات النوى الأخرى.

وثمة مركب قصدير آخر هو بوتينوكس (Butinox)، أو ما يُعرف بأوزموس (Osrose) أو TBTO. وهو يأتي من تفاعل ستانات ثلاثي بيوتيل الكلور (Chloro Tributyl Stanate) مع NaOH مركّز في البنزن. ويُسوّق هذا المركّب بوصفه مبيد فطريات أو مبيد جراثيم، خاصة لإنتاج مبيدات الفطريات الخشبية، وذلك لحماية وحفظ الخشب والمواد المستعملة في الأعمال التقنية.

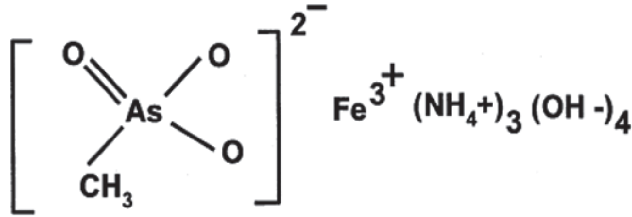


مركبات الزرنيخ العضوية

برغم أن مركبات الزرنيخ العضوية ليست مبيدات فطريات قوية عموماً كمركبات الزئبق أو القصدير العضوية، إلا أنها ما زالت تُستعمل في بعض المجالات، لكن على نطاق محدود بسبب مشكلات الرواسب.

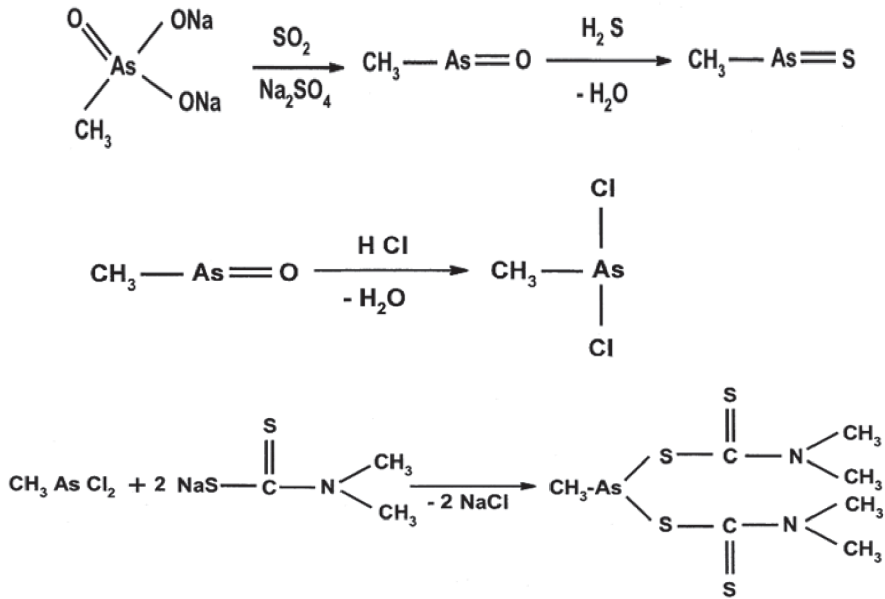
وزرنيخات الميثيل (Methyl Arsenates) هي مادة البداية لتحليل مركبات الزرنيخ العضوية التي يمكن الحصول عليها بتفاعل هاليد الميثيل (Methyl Halide) وملح حمض الزرنيخ.

ويُستعمل معقّد زرنيخات وحيد ميثيل الحديد (Mono Methyl Iron (Fe^{+3})) (Arsenate) مع NH_4OH مبيداً لفطر الرز بيريكولاريا.



Neo - asazine

سلفيد زرنينخ الميثيل أو زرنينخ كبريت الميثيل (Methyl Arsenic or Methyl Thio Arsenic) ينتج من اختزال زرنينخات ميثيل الصوديوم الشائي بواسطة SO_2 وتفاعل لاحق مع H_2S . وبفضل فعاليته الشديدة تجاه الريزوكتونيا (Rhizoctonia)، يُستعمل مادة لمعالجة البذور. ويُستعمل الريزوكتول وتراكيبه لمعالجة القطن والرز بالدرجة الأولى.



Bis (dimethyl thio carbamoyl thio) methyl arsine

وله تطبيقات في المستحضرات المكوّنة من عدة مركبات تُمثّل جرعة واحدة مع الثيروم والزيروم في مكافحة جرب التفاح وأمراض البيريكولاريا في البن. واسمه التجاري هو توزت (Tuzet).

طيف أمراض الخضراوات الشائعة في الهند

المادة الكيميائية المستعملة للمكافحة	المرض (المتعضي المسبب)	المحصول
Emison / Agalol /Captan / Thiram / Mancozeb / Carbendazim Cu compounds/Captan/Carben-dazim Carbendazim/ Bavistin / Mancozeb	ذبول (Pseudomonas solanacearum) تعفن جذر وكعب (Macrophomina phaseolina) مرض فوموبسيس (phomopsis vexans) Phomopsis مرض الميسوبلازما (Mycoplasma)	باذنجان
Tetracycline, Rogor / Metasystox	لفحة مبكرة ومتأخرة / جرب البطاطا	بطاطا
Carbendazim, Mancozeb, Zineb, Cu-oxychloride, Ziram, Antracol, MEM, Captan etc. Cu compounds, Zineb, Maneb, Mancozeb / Morthalonil Captan I Thiram / Mancozeb etc. كالباذنجان Captan / Thiram / Cu-oxychloride Antibiotic / Cu compounds Cu compounds/systemic fungicides Cu compounds/systemic fungicides Captan / Carbendazim / systemic fungicides Carbendazim, Cu fungicides Streptoeyclin, systemic fungicides Flusilazole, Thiuram, Mancozeb, Zineb, Cu fungicides, systemic fungicides.	لفحة مبكرة ومتأخرة (Phytophthora Infestans / Altrnaria Solani) ذبول وتعفن جذر وكعب تضاؤل مرض العنب الأسود (Xanthomonas Campestris) تعفن براعم وكعب (Pythium sp., Phytophthora spp.). عفن وبيري (Downy Mildew) (Pseudoperonospora cubense) تعفن فحمي (Macrophomina phascolina) التفاف الأوراق بقع على الأوراق عفن أسود واصطبغ خلفي ذبول، تعفن جذر وكعب، عفن ذروري	بندورة ملفوف يقطين متطاول فليفلة بازلاء

مراجع

Bedi, S. & Roy, N. K. (1978). Preparation and evaluation of diaryldichloromethyl phosphonates against rice blast, *Indian J. Agric. Sci.*, 48, 248-251.

Coates, G. E. (1960). *Organo-metallic compounds*. 2nd Ed. Methuen, London.

Cremlyn R. J. (1990). (e) Fungicides, In: *Agrochemicals*, John Wiley & Sons, New Work, 157-216

Dureja, P. Roy, N. K. & Mukhetjee, S. K. (1980). Preparation and biocidal activity of alkyl phenyl (dichloromethyl) phosphonates. *Pestic. Sci.*, 11. 685-688.

Green, M. B. & Spilker, D. A. (1986). *Fungicidal chemistry: Advances and practical applications*. *American Chemical Society*, Washington, D.C.

Gupta, R. L. & Roy, N. K. (1984). Synthesis and fungitoxicity of O,O-diaryl S-ethyl phosphorothiolates. *Pestic Sc.*, 15, 553-556.

Horsfall, J. G. (1945). *Fungicides and their action*. Chron. Bol. Comp. Waltham, Mas, 239.

Ibid. Synthesis and fungicidal activity of O,O-diaryl S-isopropyl phosphosphorothioates, (1988). *Proc. Indian natn. Sci.*, Acad B54 (3), 287-290.

Matolesy, G., Bordas, B., Bokar, G. Y., Dombai, Z., Dudas, J., Fodar, I., Grega, J., Nagy, J. & Pinter, Z. (1974). *Hungarian Pat.* 171, 736.

Matolesy, G., Kovacs, J., Tuske, M., Kovacs, M., Nadasy, M., Enisz, J. & Nagy, B. (1979). *Hungarian Pat.*, 178, 319.

Matolesy, G., Nadasy, M. & Andriska, V. (1988). Fungicides. In: *Pesticide Chemistry*, (G. Matolesy, M. Nadasy and V. Andriska. eds.). *Elsevier-Amsterdam*, 277-486.

Nene, Y. L. & Thapliyal, P. N. (1991). (eds., Ed.III), *Fungicides in plant disease control*, Oxford IBH Publishing Co., New Delhi, India.

Nidiry, E. S. J. & Roy, N. K. (1988). Synthesis, fungitoxicity

and quantitative structure activity relationship of O,O-bisaryl isopropylphosphonates. *Indian J. Chem.*, 27B, 1024.

Panda, A. K. & Roy, N. K. (1998). Synthesis, fungitoxicity and quantitative structure activity relationship analysis of O-aryl-O-ethyl-2-chloroethylphosphonates. *Indian J. Chem*, 37B (10), 1016-1020.

Roy N. K., Lalljee, B & Bedi, S. (1980). Synthesis and fungicidal activity of diaryl I, Idichloroethyl phosphonates. *Agr.Biol, Chem.*, 44, 2995-2997.

Roy, N. K. & Bedi S. (1981). A novel transformation to S-methyl phosphorodichloridothiolate and the fungi-toxicity of diaryl S-methylphosphorothiolates. *Agr. Bioi Chem.*, 46(7), 1935-37.

Roy, N. K. & Mukherjee, S. K. (1975). Synthesis of potential organophosphorus fungicides. Part I phenyl dichloromethylphosphonodithioates. *Pestic. Sci.*, 6,497-500.

Roy, N. K. & Taneja, H. K. (1989.). Synthesis of aroyl phosphonates and oximes and their antifungal activity. *Inter. J. Trop. Agri.*, 7, 142-149.

Roy, N. K. (1990). Chloroalkyl phosphonates and phosphorothioates-a new group of fungicides. *Proc.Indian natn. Sci. Acad, B-56(3)*, 305-310.

Samanta, S. & Roy, N. K. (1998). Synthesis, fungitoxicity and QSAR study of O,O-bis (aryl) isobutyl phosphonates, *Indian J. Chem.*, 37B(6), 564-571.

Sanyal, D. & Roy, N. K. (1997). Synthesis and structure-activity relationships for the fungicidal activity of O,O-bisaryl sec-butylphosphonates. *Pestic. Sci.*, 50, 85-90.

Tweedy, B. G. (1969). In: Fungicides (D.C.Torgeson ed.). *Academic Press*, New York, 119.

Vasu, K. & Roy, N. K. (1983). Synthesis and fungitoxicity diarylmethylphosphonates. *Agr.Biol. Chem.*, 47,2657.

Yesugi, Y. (1971). Development of organophosphorus fungicides. *Japan Pestic Inf*, 2, 11.

الفصل السابع

بروتين التائق الأخضر:

أداة مُثبتة الأداء للتقييم المخبري لأحداث التحول الجيني
وجهاز واعد لمراقبة المحاصيل المعدلة جينياً^(*)

*Slavomir Rakousky^{1,2(**)} and Marek Hraškal³*

¹Faculty of Health and Social Studies, University of South
Bohemia, Jírovčova 24,
370 01 České Budějovice, Czech Republic

²Department of Genetics, Faculty of Science, University of
South Bohemia,

Branišovská 31, 370 05 České Budějovice, Czech Republic

³Quintiles GesmbH, Branch Office, Radlická 714, 158 00 Praha
5, Czech Republic

ملخص

يُعتبر التحويل الجيني للنبات أداة فائقة الكفاءة لدراسة وظائف الجينات المختلفة وعناصرها المنظمة لها. وهي أيضاً طريقة واعدة جداً لتعديل وتحسين

(*) المؤلف المراسل: .srak@prf.jcu.cz

(**) أُعيدت طباعة هذه المقالة من: N. Huttunen and T. Sinisalo, ed., "Plant Breeding,"
Nova Science Publishers (2009).

السمات الزراعية والبستانية المختلفة، مؤدية إلى إنتاج نباتات معدلة جينياً (وراثياً). ومنذ نشر أول تعديل جيني ناجح للنبات في دراسة قبل أكثر من 30 سنة، توفّر كثير من أجناس النباتات المعدلة جينياً، وبعضها يُزرع تجارياً في كثير من البلدان في شتى أنحاء العالم، وهي تؤدي بالفعل دوراً مهماً في إنتاج الغذاء والعلف. ولاحقاً لهذه الإنجازات، غدا التحويل الجيني موضوعاً لبحث مكثّف، ومنه تحديد هوية جينات مهمة واستنساخها، وتطوير طرائق عالية الكفاءة لإقحام تلك الجينات في جينوم المضيف وانتقاء أحداث التحوّل التي هي أرجح احتمالاً لإنتاج متعضيات معدلة جينياً في المستقبل. ويُعتبر البحث الأساسي في تطوير المتعضيات المعدلة جينياً موضوعاً ذا أهمية عالمية كبيرة، وينطبق الشيء نفسه أيضاً على الدراسات ذات الصلة بأمانها إزاء صحة الإنسان والحيوان، وبمفاعيلها الممكنة في البيئة وفي منظومات البيئة الحيوية الزراعية الحالية، وما تعكسه من متطلبات الناس والسلطات التشريعية. لذا فإن بحثاً مكثفًا يقوم على استعمال أجناس نباتات مفهومة تماماً، إضافة إلى متعضيات أخرى، تؤدي دوراً مهماً في تطوير المحاصيل المعدلة جينياً، وفي إدخالها إلى البيئة والسوق، وذلك من حيث دراسة المسائل المختلفة المتعلقة بأمانها الحيوي وتقدير مخاطرها.

ويمكن لاستعمال جينات على شكل «نموذج» أو «واسمة» (Model or Marker Genes) أن يُتيح تقديراً سريعاً وفعالاً لعدد كبير من إجراءات التحويلات الجينية، ويمكن من انتقاء نخبة من أحداث التعديل الجيني، وتقييم سلوك المتعضيات المعدلة جينياً بعد وضعها في المنظومات البيئية الحيوية. وثمة كثير من الجينات الواسمة المتوافرة اليوم، إلا أن بعضاً منها فقط يمكن أن يُستعمل بطريقة لا تؤدي المتعضي المهندس موضوع الدراسة. فكشفها يتطلب عادة تحليلاً إتلافياً أو إضافة ركيزة سامة. لكن الشيفرة الجينية لبروتين التألّق الأخضر (البروتين الأخضر) (Green Fluorescent Protein) (GFP) تمكّن من الكشف غير الإتلافي لأحداث التحوّل في بعض أصناف النبات. وأكثر من ذلك أنه يمكن من إجراء دراسات في مكان الحدث وفي الزمن الحقيقي. يقدّم هذا الفصل نظرة عامة إلى استعمالات البروتين الأخضر في تطوير المحاصيل المعدلة جينياً، ومنها استعماله في انتقاء الأفراد النخبة، إضافة إلى استعماله المحتمل في الدراسات البيئية الحيوية الهادفة إلى تحقيق أمان المحاصيل المعدلة جينياً.

تقديم

برغم أن تربية النباتات المعتادة شهدت تقدماً هائلاً وأصابت كثيراً من النجاح في العقود القليلة الماضية، فإن تزايد أعداد البشر السريع ما زال يتطلب مزيداً من الغذاء والعلف. وعلى ما يبدو، فإن الطرائق المعتادة الممثلة بالدرجة الأولى بالتهجين المتحكّم فيه للنبات، وما يليه من انتقاء صارم للثمار الحاملة للسّمات المرغوب فيها، قد بلغت حدودياتها. وعلى الأغلب، فإن هذه المحدوديات تتمثل بعوائق الانتقال الجنسي للمعلومات الجينية، المتمثلة بالدّنا، وهذا ما يؤدي إلى مقدار صغير من السّمات الجيدة والأجناس التي تتصف بتلك السّمات المرغوب فيها. ويؤدي هذا إلى مجال محدود من أنواع الجينات التي يمكن استعمالها بنجاح في تنمية النبات. ومن ناحية أخرى، تمثّل طرائق تكوين الدّنا المأشوب (Recombinant DNA) الجديدة، وما يتبعها من تعديل جيني للنباتات (نقل جينات لاجنسي)، نهجاً جديداً في تعديل سمات المحاصيل المختلفة المرغوب فيها، وتفتح إمكانيات جديدة في تكاثر النبات. إن تطوير النباتات المعدلة جينياً ذات السّمات الجديدة كمياً ونوعياً هو الهدف الرئيسي لتعديل النبات الجيني. ومع ذلك، فإن إحدى أكثر سمات النبات رغبة فيها، وهي إنتاج ومردود المحصول، ما زالت صعبة التحقيق، لأن مثل هذه السمة تتحدّد بكثير من الجينات ذات التأثير الضئيل، ولا تُكشف عادة في المستوى الجزيئي. وأكثر من ذلك، إن هذه الجينات تُسهّم في التجلّي الظاهري النهائي بطريقة مختلفة. ومن ناحية أخرى، تتحدّد سمات النوعية بواسطة الجينات ذات التأثير الرئيسي المشفرة عادة بجينة واحدة أو بضع جينات فقط مسؤولة عن صيغة الظهور النهائية. وعلى وجه الإجمال، فإن التحديد الجيني يُضفي على الفرد المعني محدوديات للتعبير عن سمة معينة لا يمكن الوصول إليها إلا في الحالة المثالية التي لا تُمكن محاكاتها في المختبر، وتكون بعيدة جداً عن الواقع في هذا المجال. إن الإجراءات الزراعية لا توافر ظروفاً للاستعراض الأعظمي لسمة مردود معينة، ولذا فإنه لا يمكن الوصول إلى إمكانيات المحصول، المحددة بهويته الجينية، إلا جزئياً. وهذه الفجوة بين إمكانيات المحصول المحددة جينياً، وبين أدائه الفعلي في الممارسة الزراعية، توافر حيزاً لتحسين السّمات المختلفة باستعمال طرائق الهندسة الجينية. إن كثيراً من المتعضيات المختلفة يمتلك سمات مرغوب فيها يمكن استغلالها بنجاح لأغراض تحسين النبات، أي هندسته جينياً لتكوين نباتات معدلة جينياً. وما هي إلا مسألة وقت لكي يتم تحديد تلك السّمات في المستوى الجزيئي ومعرفة ضوابطها، وإطلاق نباتات معدلة جينياً جديدة غنية بتلك السّمات للأغراض الزراعية الواسعة.

1- النباتات المعدلة جينياً كجزء من الزراعة الحديثة

يُعدُّ تطوير وإنتاج المحاصيل المعدلة جينياً والمُغناة بسمات جديدة عملية شديدة التعقيد، وهي تحصل في المختبر والحقل، ويحتاج الجيد منها إلى تحقيق شروط أساسية معينة (Sharma et al., 2000):

- وجود جينوم معيّن مرغوب فيه ذي أهمية زراعية أو اقتصادية.
- توصيف دقيق للجنة موضوع الاهتمام في المستوى الجزيئي، مع توصيف منتجها من البروتين.
- منظومة موثوقة وفعالة لزراعة خلايا وأنسجة النبات خارج الجسم الحي، وللتوليد اللاحق للنباتات المعدلة جينياً.
- تطوير تقنيات ملائمة تمكّن من مزيد من التعديل للجنة موضوع الاهتمام، بهدف تعزيز أو تنظيم التعبير الجيني.
- تطوير منظومة موثوقة أو مفيدة لتحديد واختيار الخلايا أو الأنسجة المعدلة.
- توصيف النباتات المعدلة جينياً وتعقّب تعبير اللجنة المُقحمة حديثاً في مستوى النمط الظاهري.

وإلى جانب هذه الشروط الرئيسية المقترنة بالمختبر عموماً، يتطلّب وضع نبات جيد معدل جينياً في البيئة الزراعية مزيداً من الاختبارات والمراقبة لأمانها من حيث حصول انتقال وانتشار جينين، وإمكان تضمين اللجنة المعدلة في جينومات أقارب بريين، أو حتى أصناف بعيدة القرابة... إلخ.

ومنذ أول تعديل نباتي جيني ناجح قبل أكثر من 30 سنة، أصبح كثير من تقنيات التعديل الجيني لجينوم النبات متاحاً. ومع ذلك، ما زالت تقنيتنا النقل بوساطة الجراثيم الزراعية (الأجرعية) (Agrobacterium) (Chilton et al., 1977) والقصف الجُسيمي (Particle Bombardment) (Klein et al., 1987) صاحبتَي الدور المهيمن. إن هاتين التقنيتين اللتين تتصفان بمزايا صفات متنوعة، جيدتا التوصيف وتُستعملان على نحو متكرر، وما زالتا تخضعان إلى التحسين والتطوير.

إن طرائق التعديل الجيني تخضع إلى تطوير وتحسين مستمرين بهدف توسيع

حيز أجناس النباتات القابلة للتعديل الجيني، وزيادة كفاءتها. وبقطع النظر عن طريقة التعديل المتبعة في تجربة معينة، تُعدّل بضع الخلايا فقط بدناً غريباً، ومن هذا العدد الصغير جداً من الخلايا، تنجو قلة فقط من هذه المعالجة القاسية وتكون صالحة لمزيد من النمو والانقسام النشطين. ولا يحصل تحوّل في معظم خلايا النبات، ولذا يكمن التحدي في ضمان استمرار النمو والانقسام التفضيلي للخلايا المتحوّلة، والقضاء فورياً، في الحالة المثالية، على الخلايا غير المتحوّلة. وهذا ممكن فقط بالعزل الصحيح الذي يمكن تحقيقه إما بتأثير مثبّط للخلايا غير المتحوّلة، أو بتشجيع الخلايا المتحوّلة بالتغذية والتنمية التفضيلية. ويتطلّب كلٌّ من نوعي العزل هذين وجود جينة أخرى «قابلة للانتقاء» ضمن بنية المتعضي المستعمل لتعديل النبات. ويكون مكان حشرها الفعلي في تلك البنية قريباً من الجينة موضوع الاهتمام الذي يحمل شيفرة السمة المرغوب فيها. يُضاف إلى ذلك أنه من أجل التمكين من تحديد الخلايا المتحوّلة، يُفضّل أن تحمل البنية المتعضية جينة واسمة أيضاً وظيفتها سهلة التقييم، وتتصف بعدم كونها إتلافية من الناحية المثالية.

تحمل الجينات القابلة للانتقاء شفرات سمات يمكن استعمالها بفعالية في الانتقاء. وأكثر الطرائق شيوعاً لذلك هي إقحام جينة تشفّر إنزيماً مسؤولاً عن إيقاف عمل ذيفان [المركب السام] أو عن استقلابه. فالخلايا المتحوّلة قابلة للتطوّر في البيئة المحتوية على ذيفان من هذا النوع، في حين أن الخلايا غير المتحوّلة لا تُركّب إنزيمات سليمة، ولذا تموت، أو يُكبّت نموها وتطوورها على الأقل. واليوم، يُستعمل لذلك مضاد حيوي عموماً، هو الكانامايسين (Kanamycin) عادة. ومع أن استعماله لا يتطلب جهداً كبيراً، وهو قابل للاستعمال مع طيف واسع من أجناس النبات أو الجينات، فإنه يقلّل عدد الخلايا المسترجعة (Stewart, 2001). يُضاف إلى ذلك وجود قلق كبير لدى العامة من أن التعديلات الجينية الجديدة سوف تنتشر في البيئة مؤدية إلى ظهور أجناس وحشية من الجراثيم تحتوي على سمات مقاومة للمضادات الحيوية يمكن أن تُزعزع توازن منظومات البيئة الحيوية الحالية (Custers, 2001) أو تهدّد صحة الإنسان والحيوان. ويمكن لهذا أن يؤدي إلى ضغط شعبي قوي لاستبعاد منظومات الانتقاء تلك عن إنتاج النباتات المعدلة جينياً. لكن لا تتوافر حتى الآن إجراءات بديلة يمكن تطبيقها على طيف واسع من أجناس النباتات، إلا أن لجنة المنتجات المعدلة جينياً التابعة لسلطة سلامة الغذاء الأوروبية (European Food Safety Authority) (EFSA 2004) أصدرت

أخيراً رأياً بخصوص أمان الواسمات النباتية المقاومة للمضادات الحيوية والقابلة للانتقاء، ومخاطرها المحتملة، وأدّى ذلك إلى تصنيفها في فئات منخفضة ومتوسطة وعالية المخاطر. واستناداً إلى هذا التصنيف، وُضعت واسمات مقاومة للمضادات الحيوية تُستعمل غالباً في تكنولوجيا النبات الحيوية في الفئة الأولى، أي تلك التي هي أدنى خطراً. يُضاف إلى ذلك أن استعمال مركب سام لمنع الخلايا والأنسجة غير المحوِّلة من النمو والتطور، تؤدّي إلى الموت السريع للخلية وتفكُّكها. وتلك الخلايا الميتة أو الأنسجة المتفكّكة تفرز عادة ذيفانات ومثبّطات ومركبات إنذار من الموت غير مرغوب فيها ويمكن أن تؤدّي إلى مفاعيل ضارة لنمو وتطور الخلايا المحوِّلة المتجدّدة (Ebinuma et al., 2001).

وثمة اليوم طرائق انتقاء جديدة قيد التطوير. وتقوم تلك الطرائق عادة على حشر دنا تشفير إنزيم يسمح باستقلاب أو تعديل بعض مركبات السكر الموجودة في وسط الزراعة. يجري استقلاب هذه المركبات عادة إلى بعض المركبات السامة، لكن بوجود إنزيم مضاف جديد تُستقلب إلى مغذيات غير سامة. وقد جرى إعلان طريقة من هذا النوع للانتقاء الخلايا المحوِّلة، وهي تُستعمل غالباً تنمية زراعية بسكر ماننوز (Mannose) غير متسقلّب (Joersbo et al., 1998, Joersbo et al., 2001). ومع أنه نُشر الكثير عن استعمال هذه الطرائق، فإنها لم تُطبّق بعد على نحو متكرّر في التعديل النباتي على طيف واسع من أجناس النبات. ويبدو أن العامل المحدّد الرئيسي هو الحاجة إلى تحديد المستوى الأمثل للسكر لكل نمط جيني من أجل تحديد مستوى سُمية السكر، ومن ثمّ تطوير منظومة الانتقاء. وثمة محدّدات أخرى تبدو مقترنة بصنف أو نمط جيني معين، لأنه برغم وجود تقارير عن بعض التعديلات لثنائيات الفلقة، فقد جرى استرجاع نباتات أحادية الفلقة عموماً، مثل الذرة الصفراء والقمح والرز والشعير باستعمال هذه الطريقة (Wright et al., 2001). ويمكن لطرائق انتقاء أخرى لخلايا وأنسجة محوِّلة أن تقوم ببساطة على التحديد البصري لبعض الواسمات الملائمة، والنقل الميكانيكي للخلايا المرغوب فيها. ثم تُنقل تلك الخلايا إلى وسط جديد وتُزرع فيه (Ghorbel et al., 1999). أخيراً، وبراغم أنه جرى تطوير طيف واسع من منظومات الانتقاء المختلفة المستعملة حالياً في البحث والأعمال التجارية، فإن من الجلي أن تطوير واستعمال طريقة عامة واسعة الاستعمال أمر مرغوب فيه، وما زال ذلك موضوعاً لبحث مستفيض.

2- الواسمات الجينية في تعديل النباتات

يمثل الإقحام الناجح لدينا جديد في جينوم النبات عملية طويلة ومعقدة تتطلب تطوير وتنفيذ بروتوكول تعديل موثوق وقابل للتكرار. ويؤدي البروتوكول الذي من هذا النوع إلى تطوير أكثر الاستراتيجيات كفاءة لإقحام الجينات في خلايا النبات (Chilton et al., 1977, Klein et al., 1987)، وانتقاء وإعادة توليد خلايا معدلة جينية مفترضة (Mikki and McHugh, 2004) ثم استرجاع للنبات المعدل جينياً. إن طرائق التعديل هي قيد التحسين، خصوصاً لانتقاء وهندسة مزيد من السلالات الجرثومية المُمرضة. وتشتمل طرائق تعديل النباتات على معالجة مسبقة لأنسجة النبات المحوّلة باستعمال الهزّ الصوتي (Sonication) مثلاً (Beranová et al., 2008)، أو باستعمال طرق أخرى لشق الأنسجة تسمح باقتراب الجرثومة من الخلية على نحو أسهل (Xue et al., 1996, Dutt et al., 2007, Petri et al., 2008)، أو تعديل فترات الزرع المشترك وتحسين إعادة التوليد والزرع في المكان، ثم انتقاء الخلايا أو الأنسجة المحوّلة (Baranski et al., 2006). لهذه الأغراض، تُعتبر جينات النموذج، أو الواسمات، أداة فاعلة جداً تسهّل رؤية تعبيرها ومن ثم التقييم الناقد لكل خطوة ضمن إجراءات التعديل برمتها. لذا، فإن موسطات أو شروط، مثل تركيز الأجرعية المورّمة (*Agrobacterium Tumefaciens*)، وطول مدة الزرع المشترك، وإعدادات جهاز قصف الجسيمات ثم انتقاء وإعادة توليد الخلايا أو الأنسجة المحوّلة يمكن أن تقاس وتقيّم اعتماداً على أداء واسمة من هذا النوع من حيث النمط الظاهري (Baranski et al., 2006, Dutt et al., 2007). ويؤدي تقييم نقدي من هذا النوع إلى بناء أكثر استراتيجيات التحويل كفاءة لأجناس نباتات جديدة أو لتحسين إجراءات موجودة فعلاً. وهذا يعطي إجراءات فاعلة وموثوقة وقابلة للتكرار ورخيصة غالباً من أجل تطوير وإنتاج متعضيات معدلة جينياً بالاختزال الفوري للمادة التي سوف يجري التعامل معها وتنقيتها (Hraška et al., 2006).

لقد جرى تحديد كثير من هذه الواسمات أو الجينات الواسمة واستعمالها في بحوث النبات، إلا أن اثنتين أو ثلاثاً منها تُستعمل على نطاق واسع في علم الأحياء الجزيئي النباتي أو التعديل الجيني. فالشيفرة الجينية للجلوكورونيداز بيتا (β -glucuronidase) (Jefferson et al., 1987) (GUS) واللوسيفيراز (Luciferase) (Ow et al., 1986) (LUC) وبروتين التألُّق الأخضر (Prasher et al., 1992) أصبحت شائعة وفاعلة في مراقبة التعبير الجيني (Gene Expression) في النباتات المعدلة جينياً،

ومكّنت من دراسة وظائف النبات الحيوية، وعلم الجينات وعلم الأحياء الجزيئي والخلوي، وعلم أمراض النبات وكثير من فروع علم الأحياء الأخرى (Chudakov et al., 2005, Hraška et al., 2006, Stewart 2006). وتتصف هذه الواسمات بسماوات ومحدوديات وصفية مختلفة تجعل كل واسمة أكثر ملاءمة لغرض معيّن من الواسمات الأخرى. ومع ذلك، من بين الواسمات الثلاث المذكورة، يتصف بروتين التألّق الأخضر بسماوات فريدة تمكّن من استعماله، ليس في البحث الأساسي والتعديل الجيني للنباتات فحسب، بل واسمة أيضاً للتحديد الكمي والتقدير السريع لمحتوى النبات المعدل جينياً من البروتين المأشوب (Milwood et al., 2003, Halfhill et al., 2003b, 2005b, Hraška et al., 2005, 2008a) لانتشار التعديل الجيني في البيئة (Halfhill et al., 2003a, 2005a). وسمته الفريدة هي انعدام الحاجة إلى أي ركائز من عوامل مشتركة لتجلّي تألّقه الأخضر (Heim et al., 1994, Misteli and Spector 1997). وهذه مزية هائلة تمكّن من مراقبة التعبير الجيني في المتعضيات الحية في الزمن الحقيقي، مباشرة في المختبر، أو حتى في بيت زجاجي أو في الحقل. إن منظومة واسمة الغلوكورونيداز بيتاً الكثيرة الاستعمال، التي تمكّن من التحديد الكمي بسهولة، تتصف بعيب، هو حاجتها إلى التحليل الإتلافي. وباختصار، يمكن لبروتين التألّق الأخضر أن يكون أداة فاعلة للتقييم النقدي لإجراءات التحويل المختلفة من أجل دراسة علم الوظائف الحيوية وعلم الجينات، ولتقدير محتوى البروتين المأشوب في النباتات المعدلة جينياً. وكل ذلك يمكن أن يُقدّر أو يُراقب في الزمن الحقيقي من دون إتلاف المادة، سواء في النسيج الحي أم باستعمال عينات صغيرة من النسيج.

3- بروتين التألّق الأخضر

بروتين التألّق الأخضر هو بروتين طبيعي موجود في قنديل البحر إيكووريا فيكتوريا (*Aequorea Victoria*) في المحيط الهادي، وكان أول من وصفه براشر (Prasher et al., 1992). يحتوي إيكووريا فيكتوريا، إضافة إلى أشياء أخرى، على الإيكوورين (*Aequorin*) الذي يشع ضوء بريق كيميائي أزرق بعد تنشيطه بأيونات Ca^{2+} . ويعمل هذا الضوء الأخضر إشارة تهييج للفلوروفور (*Fluorophor*) المتوضّع مركزياً في البروتين الأخضر، فيؤدي ذلك إلى إشعاع ضوء التألّق الأخضر. والبروتين الأخضر بحد ذاته هو مخمّد للضوء ويتكوّن من أسطوانتين قطر الواحدة منهما يساوي

30 أنغستروم، وطولها يساوي 40 أنغستروم، وهما تتألفان من 11 صفيحة بيتا b، ومغطّيتان من الأعلى والأسفل بلولبي ألفة a. ويساوي وزن الأسطوانة الجزيئي النسبي 27 kDa (Yang et al., 1996). والعامل المسؤول عن إشعاع ضوء التألُّق الأخضر، أي الحامل الضوئي (Chromophore)، موجود ضمن المركز الهندسي للبروتين الذي يرتبط به تكافؤياً (Shinomura 1979, Cody et al., 1993). ويتشكّل بتعديل في ما بعد الترجمة الجينية يتحول فيه الببتيد الثلاثي Ser65-Tyr66-Gly67 إلى حلقة، وتتبعه بعد ذلك عملية أكسدة. ويُشع هذا النوع «البري» من البروتين الأخضر، حين تهيبجه بأشعة فوق بنفسجية (طول موجتها يقع في المجال 360-400 نانو متراً) أو بضوء أزرق (طول موجته يقع في المجال 440-840 نانو متراً)، ضوءاً متألقاً بلون أخضر. ولا يحتاج البروتين الأخضر إلى أي ركيزة إضافية أو عامل مشارك أو أي مركب آخر لمظهره التألُّقي، لأن تشكيل حامل اللون هو إما عملية ذاتية التحفيز أو أنه يحتاج فقط إلى مكوّنات خلوية واسعة الانتشار (Heim et al., 1994). ويمتلك البروتين الأخضر بنية صلبة جداً ضمن مجال استقرار عريض للحموضة، 5-11 pH، وعند درجات حرارة تصل حتى 65°C (Tsien, 1998). يُضاف إلى ذلك أنه يحافظ على إشعاعه المتألُّق حتى بوجود عوامل تعديل قوية للخواص الطبيعية، مثل غوانيدين كلور الماء 6M، أو البولة 8M أو 1٪ من سلفات دوديسيل الصوديوم (Sodium Dodecyl Sulfate) (Yang et al., 1996)

4- تطبيقات بروتين التألُّق الأخضر في النبات

1.4 المحاولات الأولى لاستعمال واسمة بروتين التألُّق الأخضر في تحويل النباتات نظراً لخصائصه المفيدة، أصبح بروتين التألُّق الأخضر بسرعة أداة شائعة جداً في تطبيقات كثيرة في بحوث علم الأحياء. وقد أُدخل في طيف واسع من المتعضيات، منها جراثيم بسيطة وخمائر وديدان خيطية وحشرات وأسمك ونباتات وثدييات. وأُعلن أول إدخال ناجح له في النبات في عام 1995 من قبل نيدز وآخرين (Niedz et al., 1995) وقد عدّلوا لبّ البرتقال الحلو. وفتح ذلك طرائق جديدة للتعديل الجيني للنبات ولاستعمالات النبات المعدّل جينياً. لكن بعض التعقيدات ظهرت باكراً على شكل تعبير منخفض جداً لإشارات التألُّق في خلايا النبات وخبوها، وكشفت تحاليل مفصلة للسلسلة أجراها هزلوف (Haseloff et al., 1997) عن

وجود إنترون (Intron) خفي ضمن سلسلة جينة البروتين الأخضر، أدى إلى تضفير زيغي (Aberrant Splicing) بين نيوكلييدات الـ 463-380 نانو متراً في أثناء معالجة الرنا (RNA)، وضياع منطقة الـ 84 زوجاً قاعدياً (84 bp). لذا حُرر نوع جديد من البروتين الأخضر، مشتق من استعمال مختلف للرامزة (Codon)، سُمي GFP4، ويحتفظ بنفس الخصائص الطيفية كالنوع «البري» من البروتين الأخضر، لكن مع خصائص تألُّقية محسَّنة (Haseloff et al., 1997). وأعقب ذلك اشتقاق كثير من أنواع البروتين الأخضر التي تختلف عن بعضها بالخصائص الطيفية أو بشدَّة الإشعاع التألُّقي أو الخلية المستهدفة (Stewart 2001, Hraška et al., 2006). واستُعمل البروتين الأخضر بنجاح في دراسة هيئات تعبير المعزاز (Promoter) (Sheen et al., 1995, Nagatani et al., 1997, Sunilkumar et al., 2002)، وتعليم البروتينات (Chytilova et al., 1999, Shiina et al., 2000)، وتعلُّب الأمراض (Itaya et al., 1997) والدراسات التنموية (Misteli and Spector 1997). ورغم إثارة بعض القلق من سُمِّية البروتين الأخضر المحتملة للنبات، فإنه لم يُعطَ دليل عليها ولم يُبد البروتين الأخضر أي مفعول سام أو ضار لنمو النبات أو تطوُّره أو خصوبته (راجعها Stewart et al., 2001, Hraška et al., 2006). يُضاف إلى ذلك أنه قد وُجد أن البروتين الأخضر غير سام للفران حين تغذيتها به بعد تنقيته، أو نباتات معدلة جينياً تعبَّر عن الجينة الموافقة للبروتين الأخضر (Richards et al., 2003a). وقد نوقش هذا الموضوع مرة أخرى حديثاً عندما تحدَّث بيري وآخرون (Petri et al., 2008) عن معدّل نجاة منخفض نسبياً لبراعم البرقوق (الخوخ) الناسخة للبروتين الأخضر، وافترضوا أن هذا البروتين يمكن أن يكون هو السبب. لكن التجارب اللاحقة لم تؤكِّد سُمِّية البروتين الأخضر، ويجب إعادة النظر في الافتراضات الخاصة بمعدّل النجاة المنخفض الخاص ببراعم البرقوق (Petri et al., 2008).

2.4 الحالة الراهنة: استعمال بروتين التألُّق الأخضر في مراقبة أحداث التحويل في المختبرات والبيئة

يُستعمل البروتين الأخضر اليوم غالباً لأغراض مختلفة ذات صلة بتحويل النبات (راجعها Stewart 2001, Hraška et al., 2006). ومع أن الجينة ويدا (UidA) التي تشفِّر إنزيم غلوكورونيداز بيتا (GUS) ما زالت واسعة الاستعمال

بصفتها واسمة جينية، فإن ثمة بعض المحدوديات في استعمالها. فرؤية ويدا بالتلوين النسيجي الكيميائي (Histochemical Staining) يتطلب عادة تثبيت العينات المدروسة، وهذا ما يسبب إتلافها، إضافة إلى كونه مستنزفاً للوقت نسبياً. يُضاف إلى ذلك أنه قد يحدث اختراق وتسرب غير منتظم للمنتج الإنزيمي في المحيط، وتظهر أنشجة معدلة جينياً يمكن أن تؤدي إلى تفسير غير صحيح للبيانات المحصّلة. وأخيراً، فقد ذُكر معدّل اختراق متغير لركيزة الإنزيم عبر أنسجة نباتات مختلفة (Pret'ová et al., 2001).

ونظراً إلى خواص البروتين الأخضر المفيدة، أي المراقبة السهلة لتجليّه (تألّفه) في العينات الحية، فإنه يُستعمل أيضاً في دراسات بيئية حيوية كثيرة تهدف إلى مراقبة انتشار التعديل الجيني في البيئة (Moon et al., 2006, Hudson et al., 2001)، وتحقيق منافسة المتعضيات المعدلة جينياً للمحاصيل العادية (Halfhill et al., 2005a)، واستقصاء إمكان انتقال التعديل الجيني من محصول مزروع إلى أقربائه البرّيين (Halfhill et al., 2001). وتؤدّي الدراسات التي من هذا النوع دوراً مهماً جداً في عملية تطوير المتعضيات المعدلة جينياً برمتها، خاصة في إيصالها إلى السوق وباستعمال مصدر تهيج مناسب، مثل مصباح أشعة فوق بنفسجية يدوي، من السهل نسبياً تحديد المتعضيات المعدلة وراثياً الموسومة بالبروتين الأخضر في الحقل، أو تدقيق انتشار غبار الطلع الموسوم بالبروتين الأخضر من الحقل مع بعض المتعضيات المعدلة جينياً. وإلى جانب التطبيقات التي تستعمل البروتين الأخضر وتعتمد على الكشف البصري لتألّفه في عينة من النسيج موضوع الدراسة، يمكن ذلك البروتين أيضاً من التحديد الكمي لتألّفه في نباتات سليمة (Hraška et al., 2003, Millwood et al., 2005) ومن تقدير البروتين المأشوب ضمن النبات المعدل جينياً (Halfhill et al., 2003a, 2003b, Richards et al., 2005b).

إن جميع التطبيقات المذكورة آنفاً تجعل البروتين الأخضر أداة مثالية لتقييم الخطوات المختلفة في إجراءات التعديل الجيني، وقد أدّت إلى وضع بروتوكولات تحويل جديدة أو إلى تحسين البروتوكولات القائمة فعلاً. وهو يمكن من انتقاء أكثر أحداث التحويل نجاحاً بغية الحصول على أنماط جينية نخبوية، حيث تُنتج الجينة المعدلة المُقحمة الأداء المرجوّ. إلا أن البروتين الأخضر ليس واسمة خالية من العيوب. فبرغم أنه يتصف بكثير من المزايا مقارنة بجينات واسمة شائعة أخرى

مستعملة في علم الأحياء الجزيئية النباتية، فإن مراقبة تجلّيه تقترن ببضعة نقاط ضعف أيضاً. فكي تكون منظومة المراقبة فعالة وموثوقة ونتائجها قابلة للتكرار، يجب أن تكون التكنولوجيا الواسمة دقيقة ومن دون نتائج إيجابية خاطئة، وقابلة للكشف طوال دورة حياة النبات المعني، وتوافر تدقيقاً للحالة الفعلية للجنة المعدلة موضوع الاهتمام التي جرى ربطه، أو دمجها، بها جينياً (Halfhill et al., 2003b).

3.4 بروتين التألُّق الأخضر بوصفه أداة لمراقبة أحداث التحويل

حين استعمال جينة البروتين الأخضر في تعديل النبات، ثم مراقبة تألُّقها، تُمكن عادة رؤية التألُّق الأخضر في الشقوق أو القطاعات المجروحة الأخرى، حيث يشير إلى مناطق التجلّي العابر (المؤقت) (Zhou et al., 2004). إلا أنه في المراحل الأولى من عملية التحويل وإعادة التوليد يكون التألُّق الذاتي لنسيج الجروح ممكناً، وهذا يؤدي إلى نتائج إيجابية خاطئة (Molinier et al., 2000). وفي بعض الحالات، يمكن لمستوى عالٍ من شدة التألُّق المحيطي الذاتي أن يمنع دراسة أحداث التحويل اعتماداً على تألُّق البروتين الأخضر (Hraška and Rakouský 2005, Hraška and Rakouský). نتائج غير منشورة. إلا أنه يمكن تقليص إشارة الضجيج أو التألُّق الذاتي المحيطي باستعمال منظومات ترشيح ملائمة مع جهاز المراقبة في حال توافرها (Maximova et al., 1998; Elliot et al., 1999). ويتضمن الجدول 1 لائحة مختصرة بأجهزة المراقبة المختلفة مع المرشحات الملائمة لها.

إن الدليل الأول على التألُّق الشديد مرئي بسهولة عادة في غضون بضع ساعات بعد الزرع المشترك أو القصف، إلا أنه يتناقص عادة خلال بضعة الأيام الآتية، على الأرجح نتيجة لتفكُّك الـ T-DNA غير المتكامل، أو بسبب الإسكات الجيني (Gene Silencing) الـ T-DNA مكامل فعلاً (Maximova et al., 1998). وقد أُخبر عن هذا في كثير من أجناس النبات التي أُخضعت للتحويل الجيني، ومن أمثلتها القمح (Jordan 2000) والشعير (Ahlandsberg et al., 1999) والشوفان (Cho et al., 2003) وفول الصويا (Ponappa et al., 1999) والبابايا (Papaya) (فاكهة استوائية) (Zhu et al., 2004) والتبغ (Li and Yang 2000). ويجب عدم توقُّع ترابط بين شدة المستوى الأولي للتجلّي العابر والتحويل المستقر اللاحق، وهو لم يُؤكِّد (Huber

(et al., 2002). وأخيراً أيضاً عن أنه في حالة التحويل بواسطة الأجرعية المورّمة، شوهد معدّل عالٍ من التألُّق الأخضر في مناطق شقوق نسيج الأوعية. ويمكن تفسير ذلك بالحساسية الشديدة لدى تلك الأنسجة للعدوى بالجراثيم الزراعية، وبكثافة الخلايا العالية أيضاً (Maximova et al., 1998).

الجدول 1: أمثلة لتجهيزات رصد مختلفة تُستعمل لكشف تألُّق البروتين الأخضر.

المرجع	التهيج / مرآة التحليل اللونى / مرشح الإشعاع (نانومتر)	نوع الميكروسكوب
Huber et al., (2002)	BP 450-490 / - / 515	Zeiss Stemi SV11 DM
Zhou et al., (2004)	470 / - / 500	Zeiss Stemi SV11 DM
Goldman et al., (2003)	480 / - / 515 LP	Zeiss SV11 DM
Kaeppler et al., (2000)	450-490 / - / 515 or 515-555*	Zeiss Stemi 2000C DM
Zhu et al., (2004)	385 / - / 510	Zeiss DM
Cho et al., (2000)	450-490 / - / 520 LP	Zeiss Axiophot FM
Belluci et al., (2003)	450-490 / - / 510 / 520 LP	Zeiss Axiophot FM
Eady et al., (2000)	475 / - / 510	Zeiss Axiophot FM

van der Geest and Petolino (1998)	390-460/ -/480-520	Zeiss Axioskop 20 FM
Richards et al., (2001)	450-490/ -/ 520 LP	Zeiss Standard 16
Belluci et al., (2003)	488/ -/ 560-548 BP or 590 LP*	Zeiss LSM 510 CM
Molinier et al., (2000)	460-500/-/510	Leica MZ12 DM
Ahlandsberg et al., (1999)	480/505 LP/510 LP	Leica MZ12 DM
Chabaud et al., (2003)	470/-/525*	Leica MZ FLIII FM
Taniguchi et al., (2005)	480/ -/ 510,470/ -/ 525*	Leica MZ FLIII FM
Jordan (2000)	470/ -525*	Leica MS5 DM
El-Shemy et al., (2004)	455-495/-/515	Leica DM
Carlson et al., (2001)	480/505 LP/510 LP	Leica MX-8 DM
Ponappa et al., (1999)	480/505 LP/510 LP	Leica DM
Molinier et al., (2000)	460-500/505/510 LP or 510-560 BP	Nikon E800 FM
Escobar et al., (2000)	465-495 BP/ 505/515-555 BP	Nikon FM
Maximova et al., (1998)	450-490/-/515 or 520-560*	Nikon SMZ-4 DM
Cho and Widhohn (2002)	440-520/505/510 LP	Olympus SZHIO DM

Han et al., (2005)	488/-/522	Bio-Rad MRC1024 CM
Vain et al., (1998)	450-490/ -/ 520	Nikon Microphot-5A FM

BP: مرشح تمرير حزمة؛ CM: ميكروسكوب مشترك المحرق؛ DM: ميكروسكوب تشريحي؛ FM: ميكروسكوب تآلقي (فلوريسانتي)؛ LP: مرشح تمرير موجات ضوء طويلة. *: هذه التشكيلة تقطع التآلق الذاتي الأحمر.

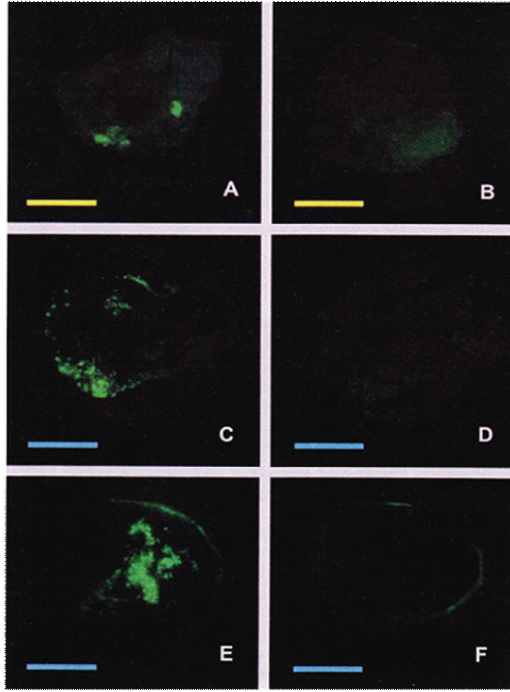
عند هذه المرحلة، تُمكن المراقبة الناجحة والموثوقة لتعبير الجينة الواسمة من التقدير النقدي لإجراءات التحويل المختلفة، وهذا ما يؤدي إلى تعديلها وتحسينها، ويتيح كشف بعض نقاط الضعف التي لم تكن واضحة سابقاً (Knapp et al., 2001). ويمكن تحديد العوامل المؤثرة في فعاليتها وتجاوزها (Li et al., 2006). ويمكن أيضاً للمعانة البصرية الناجحة والموثوقة للنسيج المعدل جينياً أن تؤدي إلى الاستبعاد المبكر للأنسجة غير المحولة، ومن ثم إلى انتقاء أكثر صرامة، واحتمال أقل لتوليد حالات زائفة ومتعضيات مختلطة الجينات، أو كيميرات (Chimera). على سبيل المثال، تحدتت دت وآخرون (Dutt et al., 2008) عن تحديد سهل لكيميرات عنب عندما كانت مقاطع تعبير البروتين الأخضر محددة ومميّزة تماماً من النسيج المحيطي غير المتآلق. ولم تنج تلك الأنسجة من انتقاء طويل الأمد، في حين أن البراعم غير الكيميرية تكاثرت وتجدرت في الوسط المحتوي على المضاد الحيوي كاناماييسين القابل للانتقاء، وسمحت بانتشار مكروي غير محدود.

يُضاف إلى ذلك أنه كانت ثمة أحاديث عن محاولات لاستعمال واسمة البروتين الأخضر بوصفها أداة الانتقاء الوحيدة، من دون الحاجة إلى استعمال أي من الطريقتين السالبة أو الموجبة (راجعها Hraška et al., 2006). وفي الحالة المثالية، يمكن لتحديد النسيج المتآلق يكون طريقة الانتقاء الوحيدة، وهذا ما يستبعد الحاجة إلى استعمال أي إجراء انتقاء آخر (Jordan 2000, Baranski et al., 2006, 2007). إلا أن محاولة من هذا النوع تتطلب كفاءة تحويل عالية جداً تسمح بتحويل مجموعة هائلة من الخلايا يكفي كبرها لتحديدها بسهولة في إعادة توليد مبكرة، قبل حصول فرط في نموها بواسطة نسيج غير محول (الشكل 1).

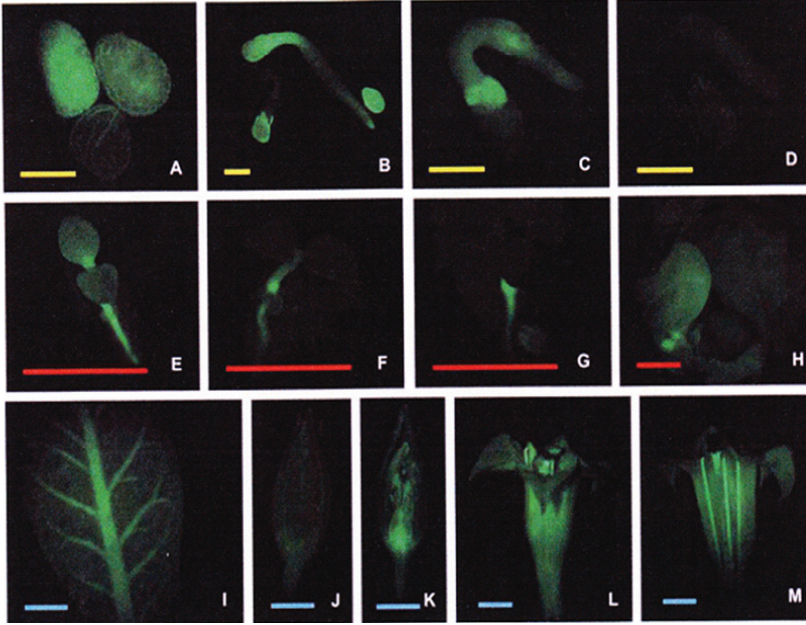
4.4 تجلّي بروتين التألُّق الأخضر في أثناء إعادة توليد البراعم وتكوين النبات الناضج

بعد إعادة التوليد الأولية للثفن أو البراعم المفترض أنه قد جرى تحويلها، يصبح كشف تألُّق البروتين الأخضر صعباً قليلاً في البراعم والأوراق البازغة. إن ذلك التألُّق مرئي بسهولة عادة في البراعم البازغة الجديدة، إلا أنه يجب ويعطي إشارة أضعف في الأنسجة والأعضاء التي هي أقدم (Kamaté et al., 2000, Tamura et al., 2004, Zhou et al., 2003, et al.). ويحصل ضياع أو خبو لشدة التألُّق عادة في الأنسجة القديمة، وتحديدًا في الأوراق (Kamaté et al., 2000, Tamura et al., 2003, Zhou et al., 2004). وهو غالباً ما يتخامد إلى مستويات يكون عندها غير مرئي عملياً، مع ظهور عَرَضِي لمناطق متألّقة صغيرة في بعض أنواع الخلايا (Eady et al., 2000) أو الأعضاء (Kim et al., 2004, Han et al., 2005). ومن ناحية أخرى، تحدّث لي وآخرون (Li et al., 2006) عن تألُّق قوي جداً للبروتين الأخضر أيضاً في نباتات عنب ناضجة تولّدت من أجنة جسدية (Somatic Embryos)، موحياً بأن خبو شدة التألُّق في النبات الناضج يمكن أن يكون خاصاً بنوعه الجيني. ويكون تألُّق البروتين الأخضر مرئياً عادة في الأعضاء التكاثرية الناضجة غير المتألّقة (Cui et al., 2003, Zhou et al., 2005, Hraška et al., 2008b)، والجذور (Zhou et al., 2004, Li et al., 2006, Dutt et al., 2008)، والنباتات الصغيرة (Kamaté et al., 2000, Zhau et al., 2004, Hraška et al., 2008b).

وتحصل عقبة أخرى في مراقبة تألُّق البروتين الأخضر عادة بعد التحويل وفي إعادة التوليد الموضوعي للأنسجة المحوَّلة إلى نبات ناضج. وقد ذُكرت اختلافات في شدة تألُّق البروتين الأخضر تقوم على أصل أو موقع العينة المدروسة، وهي أوراق في هذه الحالة، ضمن النبات برمته (Halfhill et al., 2003a, 2005b, Zhou et al., 2005). وذكُرت أحداث من هذا النوع أيضاً في حالة استعمال واسمة الغلوكورونيداز بيتا (Pret'ová et al., 2001). ويمكن أن تكون ثمة عدة أسباب لهذه الظاهرة، إلا أنه يبدو أن وجود بعض المركّبات الحاجبة للضوء أو غير الشفافة في نسيج الورقة، والتي يمكن أن تتداخل مع إشارة التألُّق الصادرة أو مع إشارة التهيج، ما زال يُعتبر السبب الرئيسي لذلك على الأرجح (Hraška et al., 2006, 2008a).



الشكل 1: تجلّ عابر (مؤقت) لبروتين التألّق الأخضر m-gfp5-ER في الكتان في المراحل الأولى التالية للزرع الجرثومي المشترك. جرى زرع مشترك لفلقات كتان عمرها 8-10 أيام مدة 3 ساعات مع سلالة أجرعية مورّمة LBA 4404 تحمل البلازميد p-BIN m-GFP5-ER (Haseloff et al. 1997)، ونمت حتى كثافة ضوئية 0.4-0.6 عند 600 نانو متر (O.D.600). ثم فُشيت الزّراعات على ورقة ترشيح معقمة وزُرعت في وسط الزّرع المشترك مدة 3 أيام في الظلمة عند درجة الحرارة 22°C. وبعد هذه المدة، غُسلت بهاء معقم يحتوي مضادات حيوية لإزالة الجراثيم، ونُقلت إلى وسط جديد يحتوي على مضادات حيوية إنتقائية (كاناميسين تركيزه يساوي 50 mg/litre). وفي نفس الوقت، أخضعت للتفتيش عن تألّق البروتين الأخضر. يُري الشكل 1A كتلة معزولة من الخلايا مع قطاعات ذات تألّق أخضر كثيف تشير إلى مناطق تجلّي بروتين التألّق الأخضر. من ناحية أخرى، لا يوجد تألّق أخضر مرئي من هذا النوع في مجموعة الخلايا الناتجة من زرع التحكم (أي غير المحوّل) (الشكل 1B). ويُري الشكل 1C قطاعات متألفة ساطعة من خلايا تجلّي بروتين التألّق الأخضر في المناطق التي بُرت فيها فلقات الكتان من النّبّات النامية. ومن الواضح أن الجراثيم الزراعية وجدت في هذه المناطق طريقاً سهلاً إلى النسيج غير المجروح، ولذا كان معدل التحويل أكثر ما يمكن. ويُري الشكل 1D إعادة توليد سُويقات ما تحت الفلقة، وهو تفتقر إلى أي دليل على التألّق الأخضر. وفي حين أنه جرى قطع الشكلين 1C و1D من النّبّات، فإن الشكلين 1E و1D قُطعا بمبضع جراح من سطح الفلقات. ومرة أخرى، أصبح التألّق الأخضر مرئياً في المنطقة المجروحة (الشكل 1E)، في حين أنه ليس ثمة من تألّق مماثل مرئي على سطح الفلقة غير المحوّل (الشكل 1F). يمثّل الخط الأصفر مسافة مقدارها 1 مليمتراً، ويمثّل الخط الأزرق مسافة مقدارها 5 مليمتراً.



الشكل 2: تعبير مستقر للجينة $m\text{-gfp5-ER}$ في تطوير تبغ معدل جينياً. لقد جرى تعقب تآلق البروتين الأخضر من المراحل الأولى لتنمية بذور مشتقة من نباتات تبغ ذاتية التلقيح مستقرة التحويل، حتى إزهار النبات الناضج وإنتاج جيل جديد من البذور. زُرعت البذور في وسط مغذٍ وُنقلت النباتات الناتجة إلى بيت زجاجي حيث نمت حتى النضج. يُري الشكل 2A بذرتين معدلتين جينياً وبذرة واحدة غير معدلة جينياً. وُصورت البذور بعد 24 ساعة من الزرع في الوسط المغذي. لاحظ أن تآلق البروتين الأخضر يمكن أن يدل على طبيعة التعديل الجيني للأفراد في مراحل مبكرة جداً من تطوّر النبات. ويُري الشكل 2B مزيداً من البذور النامية. ويُري الشكل 2C صورة مفصلة لبذور ناشئة معدلة جينياً، ويُري الشكل 2D صورة لأخرى غير معدلة جينياً. وتُري الأشكال 2E و2F و2G نباتات مع فلقات تامة التكوين. إن طبيعة التعديل الجيني للنبات واضحة في الشكلين 2E و2F، في حين أن النباتات غير المحوّلة المبيّنة في الشكل 2G تفتقر إلى أي تآلق أخضر في منطقة الفلقة. لاحظ أنه يمكن لشدات التآلق المختلفة أن تدل على تماثل أزواج الجينات (الشكل 2E) أو وحدانية نسخ الجينات (الشكل 2F) في الأفراد المدروسة. وهذا أكثر وضوحاً في الشكل 2H الذي يُري نباتات تبغ نامية في مرحلة الأوراق الناضجة حيث تمكن رؤية مستويات مختلفة من التآلق الأخضر على سطوح الأوراق. ويُري الشكل 2I ورقة تبغ ناضجة معدلة جينياً جرى تصويرها من الجانب البعيد عن الساق. لاحظ وجود تآلق أخضر أقوى في نسيج الأوعية، وهذا ناجم على الأرجح عن النشاط المهيمن للمِعزاز CaMV 35S المستعمل في هذا النوع من النسيج. ويُري الشكلان 2J و2K مقطعين، سطحي وطولاني، عبر ثمرة يانعة. إن التآلق القوي واضح في المبيض. أما الزهرة التامة النضج ومقطعها الطولاني فهما مبيّنان في الشكلين 2L و2M. إن زهرة التبغ الناضجة المعدلة جينياً ببروتين التآلق الأخضر تتصف بتآلق أخضر قوي. والبتول وجميع الأعضاء التكاثرية مرئية وقابلة للتمييز بسهولة من النسيج غير المعدل جينياً (البيانات غير مدرجة هنا). لاحظ أن التآلق الأقوى مرئي في النسيج الوعائي، وفي هذه المرة في فتائل السداة (الشكل 2M). يمثّل الخط الأصفر مسافة مقدارها 1 ملليمتراً، ويمثّل الخط الأحمر مسافة مقدارها 1 سنتيمتراً.

وفي حين أن محتوى هذا المركب يتغير تبعاً للمرحلة التطورية أو الفيزيولوجية للنسيج المعني، يتغير تآلق البروتين الأخضر أيضاً. ويُذكر اليخضور (الكلوروفيل) عادة على أنه سبب ممكن، وقد كانت ثمة تقارير في مرات عديدة عن أن نسبة اليخضور الزائدة في الأنسجة المختلفة تؤثر سلباً في تآلق البروتين الأخضر (Ponappa et al., 2002, Cho et al., 1999). من ناحية أخرى، ذكر زو (Zhou et al., 2005) استعادة تآلق خبا سابقاً في أوراق الفصّة بعد إزالة اليخضور.

وَيُنَاقَشُ أحياناً وجود بعض الأصبغة غير الشفافة لإشارة التهيج التي تقلل من شدة تآلق البروتين الأخضر في النسيج القديم. على سبيل المثال، أخفق مركوري وآخرون (Mercuri et al., 2001) في كشف دليل مرئي بالعين المجردة على وجود التآلق الأخضر في بعض أنسجة نبات الخزامى، في حين أنه قد كُشِفَت مقادير كافية من البروتين الأخضر المأشوب في النبات المعدل جينياً. وأحد الأسباب الممكنة الأخرى لهذا يمكن أن يكون تغييراً في كثافة السيتوبلازما في خلايا النبات. ونظراً إلى أن كثافة تآلق البروتين الأخضر تكون أشد ما يمكن في الخلايا والأنسجة الجديدة، فقد افترض أن حويصلات البلازما الخالية من البروتين الأخضر تمثل أكبر جزء من محتوى الخلية، وهذا يؤدي في النهاية إلى «تخفيف» المحتوى من البروتين الأخضر (Maximova et al., 1998, Cho and Widholm 2002) (الشكل 2).

5.4 تغيير شدة تآلق البروتين الأخضر في النباتات الناضجة

إن الشدة المتغيرة لتعبير الجينة المدخلة في النباتات المعدلة جينياً شيء شائع. وقد ذُكِرَ ذلك في حالة جينات واسمة أخرى من مثل الغلوكورونيداز بيتا (Pret'ová et al., 2001) وبروتين التآلق الأخضر أيضاً (Hraška et al., 2003, Halfhill et al., 2008a). وكلما كان كشف وتحليل تآلق البروتين الأخضر أسهل، كان أداة أكثر نجاحاً لتقييم النباتات المختلفة المعدلة جينياً، ولكشف الانتشار غير المقصود أيضاً للجينة المعدلة في البيئة من خلال إنتاج هجائن ذات ذرية برية. ومن أجل أن تكون منظومة المراقبة، القائمة على دراسة تعبير جينات واسمة من هذا النوع، فاعلة وموثوقة ومتكررة النتائج، يجب أن تكون التكنولوجيا دقيقة وخالية من النتائج الإيجابية الزائفة، وقابلة للكشف طوال مدة حياة النبات. ويجب أن تكون قادرة أيضاً على التقييم غير المباشر لتعبير جينات أخرى مترابطة جينياً (Halfhill et al., 2003b). ونظراً إلى الخواص الفريدة التي يتصف بها البروتين الأخضر، فإنه

يمكن أن يعمل واسمة من هذا النوع. ومع ذلك، يجب الأخذ في الحسبان بضعة من الخواص الغريبة فيه، وإيلاءها اهتماماً خاصاً.

لقد ذكرنا آنفاً أنه جرى تسجيل مستويات مختلفة من التآلق الأخضر القابل للكشف في أنسجة مختلفة ضمن نبات ناضج، وأن مستويات التآلق تنزع نحو تغيرات أكبر في الأنسجة التي هي أقدم (Halfhill et al., 2001). ودُكرت تفاوتات أيضاً في مستويات التآلق حتى ضمن ورقة واحدة (Hraška et al., 2005, 2008a). وحين تقييم نباتات معدلة جينياً باستعمال التآلق الأخضر، يجب أيضاً الأخذ في الحسبان إمكان تغيرات مستوى شدة التآلق المقاس على أي من سطحي الورقة، لأنها يمكن أن تكون مختلفة كثيراً (Hraška et al., 2008a). وما يبدو أكثر أهمية هو الفرق بين شدة التآلق القابلة للكشف في قاعدة النبات، ومن ثم الأوراق التي هي أقدم، وأعلى النبات حيث توجد الأوراق الجديدة. على سبيل المثال، دُكر خوفوت لشدة التآلق باتجاه قاعدة النبات في حالة أوراق لفت بذر الزيت (Halfhill et al., 2003b)، والتبع الذي يتجلى فيه غلوكورونيداز بيتا (Pret'ová et al., 2001)، والفصّة والررز (Zhou et al., 2005). ودُكر المفعول المعاكس في حالة نبتة الأرابيدوبسيس (Arabidopsis) (Zhou et al., 2005)، وتبع هافانا SR1 WT الذي يتجلى فيه البروتين الأخضر (Hraška et al., 2008a). وهذا ما يوحي بأن التفاوتات التي من هذا النوع في شدة التآلق القابلة للكشف تتغير من جنس إلى آخر، وربما من نمط جيني إلى آخر. لقد كان مفعول المستويات المختلفة لتجلى الجينة الواسمة في أنسجة من أعمار فيزيولوجية مختلفة افتراضياً، إلا أن التحليل التفصيلي للمحتوى من البروتين المأشوب ضمن البروتين الكلي القابل للزرع من تبع معدل جينياً لم يؤكّد ذلك. فقد كُشف نفس المحتوى من البروتين تقريباً ضمن جسم النبات برمته (Harper and Stewart, 2000). ونوقش اليخضور سابقاً أيضاً بوصفه عاملاً هاماً يؤدي دوراً في تفاوتات تآلق البروتين الأخضر (Zhou et al., 2002, Ponnappa et al., 1999, Cho et al., 2002). يُضاف إلى ذلك أن زو وآخرين (Zhou et al., 2005) قد ذكروا استعادة تآلق أخضر كان قد خبا في أوراق الفصّة، وذلك بعد إزالة اليخضور. ومن بين الأسباب المقترنة بوجود اليخضور، النسبة أو المستوى المختلف للتركيب الحيوي للبروتينات، وقد نوقش المقدار الناتج من البروتين المأشوب ضمن أنسجة معينة أيضاً (Pret'ová et al., 2001).

أخيراً، يمكن أن يكون لتأثير تجلي المعزاز (Promoter) المستعمل في أي تجربة معينة دورٌ مهمٌ. فالمعزازات التكوينية (Constitutive Promoter)، مثل CaMV

35S of Act I ما زالت تُستعمل غالباً في تجارب التحويل، وبرغم أن سماتها التأسيسية في النباتات المعدلة جينياً قد ذُكرت (Benfey et al., 1989, Battra and Hall, 1990)، فقد كشفت بعض الدراسات الحديثة بعض الاختلافات بين تجلياتها وبين بعض السمات التنموية والسمات الخاصة بكل معزاز (Williamson et al., 1989, Sunilkumar et al., 2002). فمثلاً، من المعروف أن المعزاز CaMV 35 S أكثر نشاطاً على الأغلب في الأنسجة الوعائية، ولذا يجب توقُّع تجلُّ وتألُّق أخضر أقوى في هذا النوع من النسيج. وقد أكَّد التحليل التفصيلي لنشاط CAMV 35، الذي أُجري من خلال تعقب تجلُّ التألُّق الأخضر طوال دورة حياة القطن والتبغ الناضجين، أداءه المكثف في الخلايا المستعملة في نقل المُذابات عبر الأنسجة والأعضاء الرئيسية للنباتات الناضجة (Sunilkumar et al., 2002, Hraška et al., 2008b). ومن الجدير بالملاحظة أن خفوت واختفاء التألُّق الأخضر قد شوهد أيضاً في الأنسجة المعمّرة والمتحلّلة، على غرار البذور والثمار الناضجة التي تفقد محتواها من الماء. في الأنسجة التي من هذا النوع، يمكن توقُّع تناقص معدل التركيب الحيوي للبروتينات والوظائف المهمة العامة، وهو مقترن على الأرجح بتناقص المحتوى من الماء (Hraška et al., 2008b).

من الواضح أن تجلُّ البروتين الأخضر، وتحديدًا تألُّقه، هو سمة شديدة التعقيد، وتختلف في ما بين أجناس النبات المختلفة، وفي ما بين الأنسجة المختلفة ضمن نبات معين. وفي كثير من الحالات، تبقى الأسباب الفيزيولوجية الدقيقة غير معروفة، إلا أنه يجب أخذ هذه الحقائق في الحسبان أثناء تقييم النباتات المعدلة جينياً بناء على قياسات شدة التألُّق الأخضر المكتشف على سطوح نسيج النبات، وذلك بهدف الحصول على أكثر البيانات القابلة للتكرار وثوقية. وهذا يقتضي بناء منظومة موحّدة لجمع عينات النسيج، وصيانة المنظومة طوال التجربة.

5- بروتين التألُّق الأخضر في دراسات الأمان الحيوي الزراعي والبيئي للنباتات المعدلة جينياً

أصبح تعديل المحاصيل جينياً اليوم التقنية المختارة لإنتاج أنواع زراعية جديدة. ومن مزاياها المتوقّعة تقليص استعمال مبيدات الحشرات، وجودة غذائية أفضل في الأغذية والأعلاف، وتوفير تكنولوجيا محسّنة للمحاصيل الصناعية، وإنتاج مركبات صيدلانية جديدة (Khachatourians et al., 2002, Stewart, 2004, Halford 2006). وتُزرع اليوم أصناف المحاصيل المعدلة جينياً على نحو

متزايد في أنحاء العالم كافة للأغراض التجارية. ووفقاً لتقرير رسمي صادر في عام 2008 عن الهيئة الدولية لاقتناء التطبيقات الزراعية الحيوية (International Service for the Acquisition of Agri-biotech Applications) (ISAAA)، بلغت المساحة المزروعة سنوياً بمحاصيل التكنولوجيا الحيوية 125 مليون هكتار، مع أعلى نمو سنوي في الدول النامية (James, 2008). إلا أن الاستعمال الفاعل لهذه التكنولوجيا يتطلب مقدرة على تعميم [هذه التكنولوجيا] وفهم محدودياتها وعوائقها المحتملة. فإضافة إلى القلق البيئي من تزايد المساحة المزروعة بالمحاصيل المعدلة جينياً واستعمالها المتوسع، ثمة قلق أيضاً من احتمال انتقال جينات التعديل إلى أنواع غير معدلة جينياً (هجرة جينية) من نفس المحصول (Darmency 2004, Poppy 2004, et al., 2007, Giannino et al., 2008, Knispel et al., 2008) أو إلى أجناس قريبة برية منه (نقل جيني) (Metz et al., 1997, Stewart et al., 2000, Bartsch et al., 2003, Warwick et al., 2003, Wilkinson et al., 2003a,b, den Nijs et al., 2005). وفي حين أن الاضطرابات في الحالة الأولى يمكن أن تؤدي إلى تلوث جيني للمنتجات الزراعية والبذور العادية والحيوية (ما يؤدي إلى مفاعيل اجتماعية واقتصادية مقلقة)، فإن الحالة الثانية يمكن أن تؤدي إلى توليد منتجات هجينة معدلة جينياً (لها مفاعيل مقلقة محتملة في الاقتصاد والبيئة). وقد اكتسبت أوجه القلق تلك أهمية إضافية مع ظهور إمكانية لدخول المحاصيل الملوثة جينياً إلى مراكز منشئها (المكسيك والصين، مثلاً) وإلى المراكز التي تُنتج مستحضرات صيدلانية. لذا تغدو مراقبة النباتات المعدلة جينياً في الظروف الحقلية متزايدة الأهمية مع زراعة المزيد من المحاصيل المعدلة جينياً في منظومات زراعية واسعة النطاق.

ومن المفيد أن نكرر القول هنا أن المنظومة الفعالة والموثوقة لمراقبة النباتات والمحاصيل المعدلة جينياً يجب أن تكون حساسة ودقيقة بقدر كاف لتقليص عدد النتائج الإيجابية الزائفة والتقديرات السلبية إلى أدنى قيمة ممكنة ومعالجتها، من أجل التمكن من كشف التعديل الجيني خلال الجزء المهيمن من دورة حياة النبات، ومن الناحية المثالية، التمكن من توفير معلومات عن حالة أو تحلي جينات تعديل معينة مترابطة جينياً. وتُستعمل لذلك عادة تقنيات جزيئية عادية لكشف هروب الجينات، لكنها ليست مُرضية عملياً في معظم الحالات الزراعية والمنظومات البيئية الحيوية الطبيعية المدروسة. حتى الطرائق الحساسة، مثل تفاعل البوليمراز المتسلسل (PCR) (Polymerase Chain Reaction) والتعدد الشكلي المضخم لأطوال

الشذرات (AFLP) (Amplified Fragment Length Polymorphism)، وتحليل البروتين، تتطلب عادة جمعاً إتلافياً للعينات ثم تحليلها مخبرياً بتكلفة عالية غالباً، وهي مستنزفة للوقت، وهذا ما يجعلها غير ملائمة عملياً للتقييم الواسع النطاق. ولا يمكن استبعاد خطر إمكان تأثير طريقة أخذ العينات في سلامة النبات وفي حركية الجينات، خاصة في حالة عدد العينات المنخفض، أو الأحداث النادرة، أو عدد الجينات الصغير، فإنه يمكن أن تظهر نتائج مضللة تؤدي إلى تفسير خاطئ. لذا، وبعد إدخال بروتين التلقئ الأخضر في بحوث تكنولوجيا النبات الحيوية بمدة قصيرة (Haseloff and Amos, 1995)، اقترح أن يكون واسمة للنبات برمته في التطبيقات الحقلية (Stewart, 1996).

1.5 تعبير الجينات ومراقبة تدغفها

قبل البدء بالزراعة الاقتصادية للمحاصيل المعدلة جينياً، من المفيد أن نعرف ما يكفي من الحقائق عن تعبير جينات التعديل في النباتات المزروعة في الظروف الحقلية. إن المشرعين وأنصار البيئة والمزارعين يرغبون على الأقل في الوصول إلى بيانات في الزمن الحقيقي عن وجود وتعبير جينات التعديل في المحاصيل والنباتات التلقائية النمو والأقارب البرية لمعرفة إن كانت جينات التعديل قادرة على الانضمام إلى الجينوم الخاص بها، ولتقدير المثالب والمزايا المتوقعة من ذلك الانضمام. وهذا لا ينطبق على النباتات ذات المناعة المضافة تجاه مبيدات الأعشاب الطفيلية، وتجاه البروتينات الأخرى المنتجة بالتعديل الجيني للاستعمال الزراعي (مقاومة الحشرات والأمراض مثلاً) فحسب، بل أيضاً على البروتينات المأشوبة الصيدلانية والصناعية التي تُنتج بواسطة النبات. وقد جرى تطوير طيف من التكنولوجيات الحيوية والنانوية التي يمكن تكييفها لمراقبة وجود وتعبير جينات التعديل في الحقل في الزمن الحقيقي، في النباتات ذات الأهمية الاقتصادية الزراعية والبيئية (Stewart, 2005). ومع أن كثيراً من الاهتمام قد سُلط على المراقبة بعد الجني أو القطف، فإن ثمة أسباباً جدية لمراقبة جينات التعديل قبل الجني، وذلك بالقيام بالكشف على النبات في الحقل مثلاً، وربما باستعمال منظومة لتعقب الهوية.

ومن أجل حصول تدفقات جينية بين الأصناف وأقاربها البرية، يجب أن تتحقق عدة ظروف، منها: وجود أصناف أو أقارب برية ضمن مجال انتشار غبار الطلع أو البذور، ووجود تراكم جزئي على الأقل في موسم الإزهار، وحصول تدفقات

جينية فعلية بواسطة غبار الطلع والبذور، وقابلية إنتاج هجائن خصبة قابلة للحياة، وتكوين جينات المحصول ضمن النباتات المزروعة أو النباتات البرية (Gepts and Papa 2003). وقد كان هذا الموضوع محل اهتمام عدد من المختصين، ومنهم مزارعون ومشرعون، قبل بدء زراعة المحاصيل المعدلة جينياً، بوصفه وسيلة للحفاظ على معيار نقاوة البذور المرخص في استعمالها. ومع إدخال المحاصيل المعدلة في الزراعة، تزداد أهمية الجوانب الصحية والبيئية الأخرى. وقد أُجري العديد من الدراسات الوطنية والعالمية لملء فجوات معلوماتنا عن الأمان الحيوي للمحاصيل المعدل جينياً تجاه البيئة. واليوم ثمة مقادير هائلة من المعلومات التي جرى تحصيلها عن حركة غبار الطلع وقابليته للحياة، والعوامل ذات الصلة به، ومسافات عزل وانتشار البذور... إلخ، وهي متوفرة في المنشورات وقواعد البيانات (Eastham and Sweet 2002, www.icgeb.org/, <http://sigmea.go.dyndns.org/>, <http://www.usda.gov>) وتجدر الإشارة إلى أن جزءاً مهماً من هذه المعلومات كان قد حُصِّل باستعمال طرائق عادية وتحليل جزيئي ونمذجة حاسوبية. لكن المعلومات القائمة على واسمة البروتين الأخضر ما زالت من هذه الناحية شحيحة نسبياً لأن استعمال الطرائق المذكورة كان، لأسباب عدة، أسهل أو أرخص أو أقل خطراً على البيئة. ومع ذلك فقد تم الحصول على بعض المعلومات القيمة عن حركة غبار طلع جرى «تعبه» بواسطة البروتين الأخضر، وعن مصيره، وذلك إما لتأكيد نتائج دراسات أخرى، أو للحصول على معرفة فريدة من نوعها. على سبيل المثال، صمّم هدسون وآخرون (Hudson et al., 2001) منظومة من هذا النوع للتبع وتحققوا من إمكانية استعمالها، وفي أذهانهم أنها يجب أن تكون أداة مفيدة في توصيف أنماط التوزع المكاني لغبار الطلع المعدل جينياً، وتحديد آلية التلقيح به، ومراقبة مفاعيله في المتعضيات غير المقصودة به، ومراقبة تدفق الجينات في الظروف الحقلية. وأجرى مون وآخرون أيضاً (Moon et al., 2006) دراسات إثبات للمفهوم ذات صلة بالموضوع، وذلك لمراقبة الحركة القصيرة المسافة لغبار طلع لفت بذر الزيت، الذي يحمل واسمة تألق مشفرة جينياً تحت سيطرة المعزاز LAT59 الخاص بغبار الطلع في البندورة (الطماطم). وجرى تمييز غبار الطلع المعدل جينياً من ذاك غير المعدل بواسطة أنماط طيفية فريدة داخل الجسم الحي، وأثبت أنها أداة فاعلة في مراقبة حركة غبار الطلع في البيت الزجاجي وفي الحقل. وفي الظروف الحقلية، اكتشفت حبات غبار طلع معدل جينياً بروتين تألق أخضر على مسافة وصلت حتى 15 متراً، وهي أبعد مسافة عن النبات الأصلي

الذي جرى تحليله. وعمل غبار الطلع الموسوم بالبروتين الأخضر بوصفه واسمة عملية لتحديد التماثل الزوجي الجيني Zygoty للنبات. إلا أنه يجب أن نقول إن ثمة بعض المحدوديات التي تمنع استعماله العام. فأولاً، يجب أن يكون الفرق بين تآلق غبار الطلع المعدل جينياً وتآلق ذلك غير المعدل في الأجناس المدروسة واضحاً تماماً، وهذه ليست حالة بعض أنواع التبغ على الأقل (Hraška et al., 2008b). لذا نوصي بشدة بأن النبات المانح يجب أن يكون متماثل أزواج الجينات لدرء تعقيدات التعديل الجيني بالبروتين الأخضر المقترنة بفصل غبار الطلع المعدل جينياً عن ذلك غير المعدل، والتغيّرات المحتملة في قابليته للتطبيق... إلخ.

2.5 استعمال بروتين التآلق الأخضر في دراسات الانتقال الجيني

يحصل تدفق (انتقال) الجينات في ما بين الأجناس المزروعة والبرية في المناطق التي توجد فيها أجناس متوافقة جنسياً، وذلك لتأثرها جزئياً بطرائق التكاثر ومواقع منشأ الأصناف. وقد حصل ذلك في الزراعة منذ الأزل، أو على الأقل منذ أن كُوت أولى صيغ النباتات القابلة للزرع. ومع أن تدفق الجينات من المحاصيل المعتادة إلى أقاربها البرية هو أمر واقع في الزراعة الحديثة، فإنه لم يعطَ اهتماماً خاصاً به بسبب الافتقار إلى خصائص قابلة للتمييز ذات صلة بالضرر المتوقع، وإلى المقدرة على المراقبة الفعالة للحالة. من ناحية أخرى، أدى القلق المتنامي من الأغذية المعدلة جينياً إلى نقد لاذع بخصوص أمانها، ومن ذلك القلق من هروب جينات تعديل جديدة يمكن أن تؤدي إلى مفاعيل في البيئة غير متوقّعة (Kjellsson and Simonsen 1994, Stewart et al., 2000, Ammann 2005). ومن بين المحاصيل المعدلة جينياً الرئيسية (فول الصويا، والقطن، والذرة الصفراء، ولفت بذر الزيت)، أُعطي اهتمام إضافي خاصة للفت بذر الزيت (*Brassica Napus*) المعدل جينياً، لأن ثمة كثيراً من العوامل التي تُسهم في مخاطره المحتملة المتزايدة على البيئة، وبالتحديد، يمكن لمقدار كبير من هذه البذور أن يضيع قبل الحصاد وأثناءه (Thomas et al., 1991, Lutman et al., 2005)، ولأن بقاياها يمكن أن تعطي بذوراً وفيرة في السنوات اللاحقة (Légère et al., 2001)، ويمكن أن تدوم مدة طويلة وتكوّن تجمّعات طفيلية (Simard et al., 2002). ويبدو أن أصناف لفت بذر الزيت المعدل جينياً لا تختلف في خواصها الزراعية والحيوية وأدائها عن المحصول غير المعدل جينياً باستثناء

سمة التعديل الجيني الجديدة (على سبيل المثال، نتائج المشروع SIGMA مدرجة في <http://sigmea.go.dyndns.org>). ويبدو أن هذا صحيح أيضاً في حالة دوام تلك البذور التي يمكن أن تبقى قابلة للحياة في مستودع بذور التربة مدة 10-20 سنة (Gruber et al., 2004, Lutman et al., 2005, Jørgensen et al., 2007). ووفقاً للبيانات الأخيرة الناتجة من التجارب الحقلية السويدية التي أُجريت على لفت بذور زيت معدل يتحمل مبيد الأعشاب، وُجد مقدار صغير من البذور المعدلة جينياً القابلة للحياة بعد 10 سنوات من جني المحصول المعدل جينياً (D'Hertefeldt, 2008). وبناء على منشورات هال وآخرون (Hall et al., 2000) و (Beckie et al., 2003)، أُنتجت نباتات لفت بذور زيت مقاومة لمبيدات أعشاب متعددة في ظروف حقلية بكندا، طبعاً بسبب تهجينها ضمن نفس النوع. يُضاف إلى ذلك أن لفت بذور زيت معدل جينياً يتحمل مبيدات الأعشاب قد نُقل إلى مجموعة أقرباء برية طبيعية من لفت بذور الطير (Brassica Rapa/ Birdseed Rape) بالتهجين (Warwick et al., 2003). ويمكن لهذه العوامل جميعاً أن تُسهم في مشكلات إدارة واحتواء جينات التعديل أثناء إنتاج لفت بذور الزيت. واليوم، وبوجود اهتمام بإنتاج المحاصيل المعدلة جينياً وقلق منه على مستوى العالم، قد تكون المنظومات التي توافر مراقبة تدفق الجينات ذات قيمة كبيرة.

ومقارنة بطرائق التنمية الشائعة، تُنتج هندسة النبات الجينية بعض السمات والخواص الوصفية الجديدة التي تزيد من تعقيد تقدير تدفق جينات التعديل ومخاطرها البيئية. ويتضمن هذا القلق على سبيل المثال انتقال جينات التعديل الخاصة بتحسين التوافق (مثلاً تحمّل مبيدات الأعشاب، ومقاومة الحشرات والعوامل المُمرضة، وزيادة تحمّل الإجهادات اللاحيوية) من أجناس نباتية إلى أقربائها البرية (Haygood et al., 2003, den Nijs et al., 2005). وبسبب المخاوف من العواقب المحتملة للبيئة والزراعة، من المهم تطوير منظومة مراقبة وتقدير للعوامل ذات الصلة بتدفق الجينات المعدلة (Kjellsson and Strandberg 2001). ومن المواضيع التي تشهد نقاشاً كثيفاً التأثير السلبي المحتمل المقترن بالإنتاج غير المقصود للقمح المعدل جينياً بزيادة مواءمة وقابلية جنس القمح للغزو. ومن حيث المبدأ، من دون بيانات كافية من تجارب مختبرية ودراسات بيئية، لا يمكن الاستبعاد الكلي لإمكان تهجين وانجبال (Introgression) جينات يمكن أن تعدّل الخصائص الفيزيولوجية والبيئية الحويوية لجنس القمح، وتزيد من منافسته لمحاصيل مزروعة. وقد اقترح أن

تدفق الجينات والتغيرات في التواؤم يمكن أن تمثل مشكلة محددة، خاصة مع أجناس لفت بذر الزيت (Jørgensen and Andersen, 1994, Wawrick, 1999, Snow 2002). وفي الآونة الأخيرة القريبة، جرى تأكيد أن بعض أحداث التهجين بين لفت بذر الزيت (genome AACC, $2n = 38$) وبعض أقربائه البرية يمكن أن تؤدي إلى تواؤم أفضل للهجائن تبعاً لانتقاء جينات التعديل (Jørgensen, 2007). ومع أنه يمكن تكوين هجائن عديدة من لفت بذر الزيت وأقربائه البرية (OSR×WS F1)، تبعاً للأجناس وعوامل أخرى، تتصف تلك الهجائن بمستوى خصوبة منخفض. لكن بعد تهجين متتال (مع مثيل جينياً) مع واحد من جنس الأبوين، يمكن تحقيق ذرية هجينة خصبة تحمل في الجينوم الخاص بها مقطعاً متكاملًا من الدنا الغريب، أي بنية معدلة جينياً أو جزء منها. ويزداد احتمال انتقال الجينة، خاصة في المنطق الغنية إما بالناجين من لفت بذر الزيت، أو بالأجناس البرية التلقائية النمو الموجودة مدة كافية من الزمن. ومن هذه الناحية، تُعتبر درجة تكامل جينات جنس معين مع النواتج الهجينة، ومستوى تعبير جينات التعديل في هجائن المحصول والأجناس البرية، عوامل هامة في تقدير المخاطر البيئية الحيوية والزراعية لهجرة الجينات المعدلة جينياً. لكن في بعض الأصناف والأجناس (ومنها الكرنب (Brassica))، يقترن تكوين هجائن من أصناف أو أنواع مختلفة بتغيرات في مستوى الصيغة الجينية أو عدد الكروموزومات. ولهذا السبب، فإن عدد نسخ جينات التعديل يمكن أن يتغير ويعقد تحليل وتفسير النتائج.

كيف يمكن لواسمة بروتين التألُّق الأخضر أن تكون مفيدة في دراسات تدفق الجينات وتقدير مخاطرها البيئية؟ سوف نحاول الإشارة إلى بعض استعمالاتنا المهمة له. لقد أشارت دراسات سابقة ستوارت (Stewart, 1996) إلى أنه يمكن للبروتين الأخضر أن يحل محل طرائق الكشف المعتادة، وأن يعمل واسمة لكشف وجود جينات التعديل في الزمن الحقيقي ضمن الجسم الحي. وبين لوفل وآخرون (Leffel et al., 1997) أنه إذا اقترنت جينة البروتين الأخضر بجين (هدف) آخر، أمكن للبروتين الأخضر أن يدل على وجود المادة المعدلة جينياً بتألُّق كامل النبات، من دون أخذ العينات الإتلافي أو التحليل المخبري. على سبيل المثال، إذا رُبِطت الجينة mGFP5er مع جينة الذيفان الداخلي المأشوبة العصوية الثورنجية cryIac (Bacillus Thuringiensis) (BT) (التي تشفر مقاومة الحشرات) ضمن بلازميد واحد واستعملت لتحويل التبغ، أعطى النبات الناتج كلا وأبدي كلا النمطين

الظاهريين (Harper et al., 1999). وحين اختيار نموذج جينات تعديل للدراسات البيئية، يجب إيلاء عناية خاصة لتأثيراتها الحياضية في مكونات معينة من البيئة. ومن هذه الناحية، لا يوجد تأثير مواءمة قابل للقياس لتعبير جينة الـ *cryIAC* في لفت بذر الزيت (Mason et al., 2003)، ويُعتقد أن البروتين الأخضر هو جينة تعديل محايدة من الناحية البيئية الحيوية (Harper et al., 1999; Stewart 2006). وفي تجارب أخرى على واسمة البروتين الأخضر وحده، تبين أنه ليس ثمة من أثر لتجلي البروتين الأخضر ضمن حبيبات غبار طلع التبغ في سلامة ذلك الغبار، ضمن ظروف التجربة المتحكم بها (Hudson and Stewart, 2004). ويُعتقد أيضاً أن البروتين الأخضر ليس ساماً للفقاريات وفقاً لما بينته الفحوص المختبرية على الفئران (Richards et al., 2003b).

وقيل إن البروتين الأخضر يمكن أن يُسهّل مراقبة تدفق الجينات من الزراعة إلى البيئة، وهذا صعب أو غير عملي باستعمال التقنيات الجزيئية المعتادة. وبناءً على هذا الرأي، قرّر هالفهيل (Halfhill et al., 2001, 2003a) استعمال نفس بنية التعديل الجيني التي استعملت في دراسات سابقة أجراها هربر (Harper et al., 1999) لحل مجموعة كاملة من المشاكل المقترنة بتجهين لفت بذر الزيت (أنواع من لفت بذر الزيت تُزرع من أجل زيتها، وهي قليلة حمض الإيروسيك (Erucic Acid) والغلوكوسينولات (Glucosinolate) مع لفت بذر الطير، وهو عشب طفيلي شائع في أكثر من 50 بلداً، ويمثل طفيلياً خطراً على محاصيل الحبوب في كندا وبعض البلدان الأخرى (Holm et al., 1997). وقد اقترح أن لفت بذر الطير (AA, 2n=20) هو سلف لفت بذر الزيت (AACC, 2n=38) (UN 1935)، ووثق تهجينه في ما بين أجناس مختلفة في الظروف المختبرية (Mikkelsen et al., 1996a; Jørgensen and Andersen, 1994; Metz et al., 1997) والحقلية (Mikkelsen et al., 1996b; Scott and Wilkinson, 1998). ولكي يكون البروتين الأخضر واسمة مفيدة في الظروف الحقلية، فإنه يجب أن يحقق عدة شروط مسبقة. بالدرجة الأولى، يجب أن يكون موضع تعلقه المرئي ضمن النبات معروفاً من أجل مراقبة دقيقة لجينات التعديل. ويجب أن يكون التآلق مستقراً بقدر كافٍ أيضاً طوال مدة حياة النبات. وهو يتصف بمزية عظيمة إذا كانت أنماط التآلق في أجناس الأقارب البرية التي هُجن النبات معها معروفة. وإذا تحقّق الشرط الثاني، فإننا سوف نستطيع مراقبة النبات وذريته (التلقائية النمو والطفيلية)، ومراقبة انتقال الجينات إلى أجناس

أخرى أيضاً من خلال تكوين مجموعات هجينة، وذلك من أجل فهم تغيرات تعبير جينات التعديل ضمن خلفية جينية كثيرة الأعشاب الطفيلية. وعلى الأرجح سوف تتحدّد التأثيرات المحتملة لجينات التعديل في البيئة أيضاً.

وبفضل العمل الرائد الذي قام به هالفهيل وآخرون (Halfhill et al., 2001) (Halfhill et al., 2003a,b) باستعمال واسمة بروتين أخضر مرئي، تحقّق عدد من الاكتشافات المهمة باستعمال نموذج معدل جينياً للفت بذر الزيت وهجائه مع لفت بذر الطير. وما هو أكثر أهمية، أنه عندما استعملوا بنيتي بروتين أخضر مختلفتين (مع mGFP5er فقط أو mGFPPer مدمج مع جين الذايفان الداخلي cryIac) استطاعوا كشف البروتين الأخضر بالعين المجردة في كل مراحل دورة حياة لفت بذر الزيت (Halfhill et al., 2001). ومن ناحية أخرى، وجدوا أن موضع التألُّق السهل الكشف تغير مع نضوج النبات. وأثناء نمو النبات، كانت أفضل رؤية لتألُّق البروتين الأخضر عند قمة البارض (Meristem) وفي الأنسجة الوعائية، في حين أن المادة غير المعدلة جينياً تألقت في هذه المرحلة بضوء أحمر كان سهل التمييز من الضوء الأخضر البراق في النبات المعدل جينياً. وعندما نمت الأوراق ونضجت، كان التألُّق الأخضر أقل وضوحاً، وقد يكون قد حُجب بالتألُّق الأحمر الزائد لليخضور. وفي نهاية دورة نمو النبات أصبح من الصعب التفريق بين أوراق النباتات المعدلة جينياً وتلك غير المعدلة بسبب احمرار الأوراق المعدلة جينياً. وقد بيّنت نتائج هالفهيل وآخرين (Halfhill et al., 2003b) أنه يمكن استعمال البروتين الأخضر واسمة دقيقة للتعديل الجيني، إلا أن الجوانب المتعلقة بنمو النبات يجب أن تُؤخذ في الحسبان حين تفسير قياسات التألُّق. ويجب الانتباه إلى أن أنماط النمو والموضع الدقيق للتألُّق الأخضر يعتمد بقوة على المعزاز المستعمل للتحكُّم في جين بروتين التألُّق الأخضر. وفي الدراسات المذكورة آنفاً، استُعمل معزاز تكوين فيروس فسيفساء القرنييط CaMV 35S في التجارب. ويبيّن هالفهيل وآخرون (Halfhill et al., 2003a) وريتشاردز وآخرون (Richards et al., 2003a) أن جيلاً متماثل الجينات T_1 (ذرية المتحول الذاتي الأولي T_0) في موقع إقحام واحد من نبات لفت بذر زيت معدل جينياً بروتين أخضر وذايفان العصوية الثورنجية مع نسختين من جينة البروتين الأخضر المعدلة، قد تألقت بمقدار يساوي ضعف تألُّق النباتات الوحيد نسخة الجينة ذي نسخة التعديل الجيني الواحدة فقط. وهذا يدلّ على أن تعبير جينة البروتين الأخضر هو من النوع المضاف، وأنه يمكن استعمال التألُّق لتحديد حالة تماثلية الجينات في النبات. وشوهد

أيضاً تعبير التعديل الجيني المضاف الخاص بالبروتين الأخضر في التبغ والثاليانا أرابيدوبسيس (*Arabidopsis Thaliana*) من الفصيلة الكرنبية أيضاً (Niwa et al., 2000, Molinier et al., 1999, al., إلا أن نتائج هالفهيل وآخرون Halfhill et al., 2003a) تحالف استنتاجات الدراسات السابقة (Hobbs et al., 1990, Caligari et al., 1993, Scott et al., 1998, Allen et al., 2000, James et al., 2002) ، حيث أُثبت أن أحداث تحويل مستقلة، حصلت مع نفس بنية البلازميد، تُبدي طيفاً واسعاً من مستويات التعبير والاستقرار عبر الأجيال. وأحد التفسيرات الممكنة للاختلافات في تعبير جينة التعديل يقوم على افتراض أنه قد حصل إسكات الجينة المعدلة في بعض الأحداث.

وتركزت الجهود الأولية الرامية إلى دراسة التعبير عن جينة التعديل في المجموعات الهجينة في تقديرات النمط الظاهري للتعديل الجيني، مثل تحمّل مبيدات الأعشاب ومقاومة الحشرات أو جينات الواسمة (Mikkelsen et al., 1996a, Metz et al., 1997, Harper et al., 1999, Chevre et al., 2000, Halfhill et al., 2001). وبازدياد إدراك أهمية عدد نسخ جينة التعديل وبنية مجموعة النبات، يصبح التقدير الكمي في مستوى المجموعة ضرورياً من أجل التقييم الصحيح للمخاطر المحتملة. وقد وجد هالفهيل وآخرون، حين تحليل التآلق الوسطي لكل جيل هجين لاحق، أن مجموعات هجائن لفت بذر الزيت المتماثل أزواج الجينات مع أسلافه التي تحتوي على أفراد متماثلة أزواج الجينات للبروتين الأخضر (كتلة BC_2F_2) أظهرت تآلقاً أشد كثيراً من تآلق الأجيال الهجينة الوحيدة نسخة الجينة (F_1 BC_1F_1 and BC_2F_1). وفي أجيال هجينة متقدمة، أُثبت أن النمط الظاهري الوسطي للتعديل الجيني يزداد عندما غيّر التزاوج في ما بين الأفراد درجة تماثل أزواج الجينات ضمن المجموعة. لذا يجب أن يُضاف اكتشاف أن الأجيال اللاحقة سوف تصل إلى النمط الظاهري المعدل جينياً لأنواع المحصول إلى استراتيجيات إدارة المخاطر. ولتحقيق مستوى الصيغة الجينية لأجيال كتلة BC_2F_2 وتحديد درجة انجبال لفت بذر الزيت في أجيال متعددة تهجين الأسلاف من لفت بذر الطير، استعمل القياس الخلوي (Cytometry) وتحليل التعدد الشكلي المضخم لأطوال الشذرات ALFP خلال الدراسات. ووفقاً لبيانات هالفهيل وآخرون (Halfhill et al., 2003a) احتوت أجيال F_1 الهجينة على 90%-95% من واسمات التعدد الشكلي المضخم لأطوال الشذرات الخاصة بلفت بذر الطير، وأظهر كل جيل تهجين سلفي متتال انخفاضاً

في الواسمات، مؤدياً إلى وجود 15%-29% من مجموعة كتلة BC_2F_2 كان مستوى الصيغة الجينية فيها مماثلاً لتلك الخاصة بالجنس الطفيلي الأب، لفت بذر الطير.

وبعد تهجين الصيغ الأبوية، تتولد الأفراد F_1 الوحيدة نسخة الجينة، وهذا يزيح درجة النمط الظاهري للتعديل الجيني ضمن المجموعة الهجينة. ونظراً إلى أن التهجين يمكن أن يغيّر كثيراً من التركيب الجيني لمجموعات أصناف الأقارب البرية، يمكن لفهم الانجبال الجيني أن يساعد على التنبؤ بالكيفية التي سوف تتفاعل بها المجموعة الهجينة في البيئات الزراعية والطبيعية. في تجارب هالفهيل وآخرين المذكورة آنفاً، تغيرت درجة تماثل الأزواج الجينية الوسطية والبنية الجينية للمجموعات المعدلة جينياً مع تقدّم الأجيال، وجرى تبيان أن جينة البروتين الأخضر المعدلة تمثل واسمة مثالية لتحديد تعبير التعديل الجيني كمياً في المجموعات المتقدمة من هجائن لفت بذر الزيت ولفت بذر الطير. وهي توحى بأنه من الممكن، في بعض الأجناس على الأقل، مراقبة حركة جينات التعديل بتعليمها بواسطة بروتين التألّق الأخضر. وبافتراض أن تلك الجينات سوف تبقى في المجموعات المهجّنة مع أسلافها، فإن الخطوة الآتية في تقدير الأمان الحيوي للمجموعات الهجينة المعدلة جينياً هي تحديد العوامل التي تتحكّم في مستويات تعبير جينات التعديل، وتحديد درجة الانجبال الجيني للمحصول ضمن الأجيال الهجينة. وبسبب ذلك، على بحوث المستقبل أن تحدد تواتر التهجين مع الأسلاف والذات في ما بين الأفراد المعدّلين جينياً في الظروف الحقلية من أجل القيام بتنبؤات عن تأثيرات النمط الظاهري المتغيّر المعدّل جينياً.

ومن أمثلة استعمال واسمة البروتين الأخضر في تقدير المخاطر البيئية ما أورده هالفهيل وآخرون حين أجروا تجارب زراعية في الحقل وفي بيت زراعي بهدف تقدير تأثير الانجبال الجيني للعصويات الثورنجية cryIac وبروتين التألّق الأخضر في الإنتاجية الهجينة والتنافسية في أربعة أجيال تجريبية هجينة من لفت بذر الطير ولفت بذر الزيت (F_1 , BC_1F_1 , BC_2F_1 and BC_2F_2). ومن أجل مقارنة الهجائن المعدلة جينياً بأنواع أبوية، استند الانتقاء إلى النمط الظاهري للبروتين الأخضر فقط، الذي دلّ على وجود جينة العصوية الثورنجية في كل جيل. وطُبّق معيار الانتقاء القائم على الجينة المعدلة أيضاً لمحاكاة حالة حقلية مع جينة تعديل افتراضية محسّنة للتوافق بقيمة انتقاء إيجابية عالية. وباستعمال الطريقة المذكورة آنفاً لم يجد المؤلفون أي تأكيد

تجريبي لقوة أو تنافسية محسّنة في مجموعات لفت بذر الزيت الهجينة (العادية والمعدلة جينياً) مقارنة بالمحصول وأجناس الطفيليات الأبوية. وأعطى التهجين، مع انجبال جيني معدل أو من دونه، مجموعات أقل إنتاجاً وتنافسية.

وفي بعض دراسات الحالة، ومن أمثلتها تلك التي اشتملت على لفت بذر الزيت، كان من المفيد استعمال أعشاب طفيلية معدلة جينياً أيضاً بوصفها أداة مراقبة تجريبية بغية تحقيق فهم أفضل لحمل المحصول الجيني (Genetic Load) في الأعشاب الطفيلية الانجبالية المعدلة جينياً. وابتدأ هذه المحاولات مون وآخرون (Moon et al., 2007) الذين استعملوا عصويات ثورنجية محوّلة مباشرة مع إضافات برية من لفت بذر طير معدل جينياً ذي بروتين أخضر وcryIAC في تجاربهم في الحقل وفي بيت زجاجي. واستناداً إلى نتائج الدراسة اقترح مون وآخرون (Moon et al., 2007) أن لفت بذر الطير الطفيلي المعدل مباشرة يمكن أن يعمل موسم مقارنة تجريبياً سالباً لتقدير مفاعيل ارتباط جينات لفت بذر الطير في تجارب الانجبال الجيني لأن إنتاجية لفت بذر الطير المعدل جينياً بعصويات ثورنجية لم يكن مختلفاً عن اللفت الأب في حالة غياب أكلة الأعشاب. وفي حالة لفت بذر الطير الطفيلي المعدل وغيره من لفت بذر الزيت أيضاً، تجب الإشارة إلى أن جينة التعديل موضوع الاهتمام تقع في وسط جينات الطفيليات الداخلية المنشأ، وهذا يتعارض مع حالة الطفيليات الانجبالية المعدلة جينياً التي سوف تحتوي على جينات محصول مرتبطة مع موقع التعديل الجيني (Halfhill et al., 2003a, Stewart et al., 2003).

ووفقاً لما اقترحه هالفهيل وآخرون، لا يقتصر استعمال واسمة بروتين التألّق الأخضر على حالة جيتين مستقلتين (بروتين أخضر وجينة هدف) يحكّمهما معزازان متمثلان، بل تُستعمل أيضاً لتعقب منتجات الاندماج المتولّدة من جينات كيمييرية تتكوّن باندماج البروتين الأخضر والخلية الهدف. ونظراً إلى خواص جينة البروتين الأخضر الفريدة، فإن من المفاجئ أن المنتجات ذات الجينات المدججة تستطيع الحفاظ على الخواص الأساسية للمنتجات الأصلية الوحيدة الجينة. وحين بناء بروتينات اندماج، يندمج فيها البروتين الأخضر مع بروتين مأسوب آخر، يمكن لقياسات تألّق بسيطة أن تتنبأ بالنمط الظاهري لصفة معدلة جينياً غير قابلة للقياس بطريقة أخرى (Halfhill et al., 2003a). وما زالت التجارب التي من هذا النوع، التي تقوم على استهداف جينات مدججة، تُستعمل في الظروف المخبرية وفي البيوت الزجاجية،

ولم تُطبَّق بعدُ في الدراسات البيئية. إلا أن إمكان استعمال بنى جينية كيميائية، من واسمة وهدف مدججين، يضيفي عليها بعداً جديداً. وأحد الأمثلة على خط جديد ممكن لتصميم جيل من المحاصيل المعدلة جينياً يمكن أن يُظهر مقداراً إضافياً من الأمان من حيث الوجود المشترك في الزراعة والبيئة، هو ما اقترحه دت وآخرون (Dutt et al., 2007) في الآونة الأخيرة. فقد استعملوا بنية تحتوي على جينة ببتيد حائل بوجود المعزاز 35S، وجينة واسمة ثنائية الوظيفة تتألف من اندماج انزياحي ضمن الإطار بين جينة بروتين أخضر محسَّن وجينة نيومايسين فوسفوترانسفيراز (nptII) (Neomycin Phosphotransferase) لتعديل طعوم عنب بغية زيادة مقاومة براعم الطعوم للعامل الجرثومي المرَضِي كسيللا فاستيديوسا (*Xylella Fastidiosa*) المقتصر على الخشب، وللتحكُّم في هجرة جينات التعديل عبر غبار الطلع والبدور. وإذا أضفت الببتيدات النشطة حيويًا، الناتجة من الطعوم المعدلة جينياً على براعم الطعوم غير المعدلة، سمات مرغوباً فيها من مثل مقاومة الأمراض، تُحلُّ مسألة تدفق الجينات غير المقبولة، لأن غبار الطلع والبدور المعدلة جينياً لن تُنتج في أثناء الإزهار وإنتاج الثمار. يُضاف إلى ذلك أن تسويق العنب المعدل جينياً يصبح أسهل، لأن الحاجة سوف تقتصر على بضعة أنواع من الطعوم المعدلة جينياً لحماية أي برعم طعم غير معدل جينياً.

3.5 محدوديات ومشكلات استعمال بروتين التألُّق الأخضر في الدراسات البيئية

برغم كون بروتين التألُّق الأخضر واعداء بوصفه واسمة للتعديل الجيني في مستوى الحقل، فإن ثمة بعض المحدوديات في استعماله العام، شأنه في ذلك شأن كثير من الطرائق الأخرى. وإحدى عقبات استعماله هي تغيُّر التألُّق الذي شوهد ضمن نفس الجزء من جسم النبات (غالباً ما يُدرس تألُّق المظلة الورقية) وخلال دورة حياة النبات (Halfhill et al., 2001, 2003b, Hraška et al., 2008a). وأحياناً، يمكن لانتقاء مرحلة نمو النبات الملائمة أن يكون ضرورياً لإمكان استعمال طريقة رؤية بصرية. وإذا أُجري تقدير التألُّق خلال مرحلة غير ملائمة من تطوُّر النبات، مثل نهاية مرحلة النمو في حالة لفت بذر الزيت مثلاً، قد يكون من الصعب أو المستحيل التفريق بين أوراق النبات المعدلة وغير المعدلة جينياً. وفي المقابل، اقترن تألُّق البروتين الأخضر إيجابياً بالبروتين المنحل في وحدة الكتلة المبلولة (ملي غرام/

ملي لتر من النسيج) في أوراق من كل الأعمار (Halfhill et al., 2003b, 2005b). وتتأثر شدة التآلق أيضاً بموقع الورقة من النبات، وبحديث التعديل الجيني (Halfhill et al., 2003b, 2005b, Hraška et al., 2005, 2008b). ووفقاً لما ذكر في الجزء الأول من هذه المقالة، تؤثر عوامل عديدة، منها عوامل جينية وأخرى لاجينية، في مستوى التآلق ضمن جسم النبات. وحتى إن بعضها يمكن أن يمنع الاستعمال الناجح لطريقة البروتين الأخضر المرئي البسيطة. وبرغم أن ثمة كثيراً من أجناس النباتات التي استعملت فيها واسمة البروتين الأخضر للتفريق بين النباتات المعدلة جينياً وتلك غير المعدلة (من أجل الاطلاع على استعراض حديث انظر Hraška et al., 2006)، فإن استعماله مع بعضها مقتصر على بعض أجزاء النبات أو على فترة النمو الملائمة. من ناحية أخرى، يبدو أن استعمال واسمة بروتين التآلق الأخضر في بعض المحاصيل المعدلة جينياً، ومنها الكتان، أو على الأقل تلك النباتات الناتجة بعد التعديل مع مجموعة جينات تحمل أكثر الواسمات شيوعاً mGFP5er، لن يكون ممكناً بطريقة مباشرة (Hraška and Rakouský, 2005) بسبب وجود مركبات متألقة ضمن خصائص إشعاع قريبة من خصائص البروتين الأخضر في نباتات غير معدلة جينياً (إشارة إيجابية زائفة)، أو مواد أخرى تحجب تآلق البروتين الأخضر في النبات المعدل جينياً (إشارة سالبة زائفة). في الحالة الثانية، يمكن لاستعمال مجموعة مرشحات أخرى لكشف التآلق في النبات أن يكون ذا فائدة (Hraška et al., 2008a).

4.5 المستقبل

تمكّن خواص واسمة بروتين التآلق الأخضر الفريدة من استعماله في تطبيقات مختلفة في مجال مراقبة التجارب الحقلية الواسعة النطاق التي تسعى إلى تقدير مخاطر التكنولوجيا الحيوية الزراعية التي يمكن أن تكون مفيدة. وهو أداة واعدة جداً أيضاً للمراقبة المستقبلية للمحاصيل المعدلة جينياً حين تسويقها. من ناحية أخرى، حتى أكثر تكنولوجيات المراقبة تقدماً القائمة على بروتين التآلق الجيني (البروتين المدمج أو المفصول)، تنطوي على عدة مجالات تحتاج إلى مزيد من البحث. وفي المقام الأول، يجب تقييم بروتين التآلق الأخضر وغيره من بروتينات التآلق من حيث أمانها العام بنفس طريقة تقييم كثير من الواسمات المقاومة للمضادات الحيوية التي لاقى

استعمالها قبولاً واسعاً بوصفها آمنة. وبرغم أن كل الدلائل المتوافرة تشير إلى أن بروتين التألُّق الأخضر آمن للبيئة والغذاء والعلف، ثمة حاجة إلى مزيد من البحث، خاصة من ناحية أمانه الغذائي. وسوف يعتمد الاستعمال المستقبلي لتكنولوجيا بروتين التألُّق الأخضر، أو لأي واسمة أخرى، في المراقبة على قرار المشرِّعين وقبول الشركات التي عليها تحقيق الاندماج البروتيني أو إعادة هندسة النباتات لأغراض المراقبة. ومن ناحية أخرى، فإن أي تغيير لتصميم النباتات المعدلة جينياً سوف يكون عالي التكلفة، بقطع النظر عن الجينة الواسمة أو المنظومة أو الأهداف.

كلمة شكر

يتقدّم المؤلفون بشكرهم لوزارة التربية والشباب والرياضة في جمهورية تشيكيا على دعمها المالي لدراساتهم عن بروتين التألُّق الأخضر التي أدت إلى تحضير هذه المقالة (المنحتان 1M06030 and 1P05ME800). ويعبّرون عن شكرهم أيضاً للمستشار البيئي J. B. Sweet على مناقشته الناقدة والقيّمة في أثناء تحضيرها. وقد تكرّم جون ماكفوي (John McAvoy) بمراجعة هذه المقالة لغوياً.

مراجع

Ahlandsberg, S; Sathish, P; Sun, Ch; Jansson, Ch. Green fluorescent protein as a reporter system in the transformation of barley cultivars. *Physiol. Plant.*, 1999, 107, 194-200.

Allen, GC; Spiker, S; Thompson, WF. Use of matrix attachment regions (MARs) to minimize transgene silencing. *Plant Mol. Biol.*, 2000, 43, 361-379.

Ammann, K. Effects of biotechnology on biodiversity: Herbicide-tolerant and insect-resistant GM crops. *Trends Biotechnol.*, 2005, 23, 388-394.

Baranski, R; Klocke, E; Schumann, G. Green fluorescent protein as an efficient selection marker for *Agrobacterium rhizogenes* mediated

carrot transformation. *Plant Cell Rep.*, 2006, 25, 190-197.

Baranski, R; Klocke E; Ryschka, U. Monitoring the expression of green fluorescent protein in carrot. *Acta Physiol. Plant.*, 2007, 29, 239-246.

Bartsch, D; Cuguen, J; Biancardi, E; Sweet, J. Environmental implications of gene flow from sugar beet to wild beet current status and future research needs. *Environ. Biosafety Res.*, 2003, 2, 105-115.

Battraw, MJ; Hall, TC. Histochemical analysis of CaMV 35S promoter- β -glucuronidase gene expression in transgenic rice plants. *Plant Mol. Biol.*, 1990, 15, 527-538.

Beckie, HJ; Warwick, SI; Nair, H; Séguin-Swartz, G. Gene flow in commercial fields of herbicide-resistant canola (*Brassica napus*). *Ecol. Appl.*, 2003, 13, 1276-1294.

Bellucci, M; De Marchis, F; Mannucci, R; Arcioni, S. Jellyfish green fluorescent protein as a useful reporter for transient expression and stable transformation in *Medicago sativa* L. *Plant Cell Rep.*, 2003, 22, 328-337

Benfey, PN; Ren, L; Chua, N-H. Tissue specific expression from CaMV 35S enhancer subdomains in early stages of plant development. *EMBO J.*, 1990, 9, 1677-1684.

Beranová, M; Rakouský, S; Vávrová, Z; Skalický, T. Sonication assisted *Agrobacterium* mediated transformation enhances the transformation efficiency in flax (*Linum usitatissimum* L.). *Plant Cell Tissue Organ Cult.*, 2008, 94, 253-259.

Caligari, PDS; Yapabandara, YMHB; Paul, EM; Perret, J; Roger, P; Dunwell, JM. Field performance of derived generations of transgenic tobacco. *Theor. Appl. Genet.*, 1993, 86, 875-879.

Carlson, AR; Letarte, J; Chen, J; Kasha, KJ, Visual screening of

microspore-derived transgenic barley (*Hordeum vulgare* L.) with green-fluorescent protein. *Plant Cell Rep.*, 2001, 20, 331-337.

Chabaud, M; De Carvalho-Niebel, F; Barker, DG. Efficient transformation of *Medicago truncatula* cv. Jemalong using the hypervirulent *Agrobacterium tumefaciens* strain AGL1. *Plant Cell Rep.*, 2003, 22, 46-51.

Chèvre, AM; Eber, F; Darmency, H; Fleury, A; Picault, H; Letanneur, JC; Renard, M. Assessment of interspecific hybridization between transgenic oilseed rape and wild radish under agronomic conditions. *Theor. Appl. Genet.*, 2000, 100, 1233-1239.

Chilton, MD; Drummond, MH; Merlo, DJ; Sciaky, D; Montoya, AL; Gordon, MP; Nester, EW. Stable incorporation of plasmid DNA into higher plant cells: the molecular basis of crown gall tumorigenesis, *Cell*, 1977, 11,263-271.

Cho, HJ; Widholm, JM. *Agrobacterium tumefaciens*-mediated transformation of the legume *Astragalus sinicus* using kanamycin resistance selection and green fluorescent protein expression. *Plant Cell Tissue Organ Cult.*, 2002, 69, 251-258.

Cho, MJ; Ha, CD; Lemaux, PG. Production of transgenic tall fescue and red fescue plants by particle bombardment of mature seed-derived highly regenerative tissues. *Plant Cell Rep.*, 2000, 19, 1084-1089.

Cho, MJ; Choi, HW; Jiang, W; Ha, ChD; Lemaux, PG. Endosperm-specific expression of green fluorescent protein driven by the hordein promoter is stably inherited in transgenic barley (*Hordeum vulgare*) plants. *Physiol. Plant.*, 2002, 115, 144-154.

Cho, MJ; Choi, HW; Okamoto, D; Zhang, S. Expression of green fluorescent protein and its inheritance in transgenic oat plants generated from shoot meristematic cultures. *Plant Cell Rep.*, 2003, 21, 467-474.

Chudakov, DM; Lukyanov, S; Lukyanov, KA. Fluorescent proteins

as a toolkit for in vivo imaging. *Trends Biotechnol.*, 2005, 23, 605-613.

Chytilova, E; Macas, J; Galbraith, DW. Green fluorescent protein targeted to the nucleus, a transgenic phenotype useful for studies in plant biology. *Ann. Bot.*, 1999, 83, 645-654.

Cody, CW; Prasher, DC; Westler, WM; Prendergast, FG; Ward, WW. Chemical structure of the hexapeptide chromophore of Aequorea-green fluorescent protein. *Biochemistry*, 1993, 32, 1212-1218.

Cui, ML; Handa, T; Ezura, H. An improved protocol for Agrobacterium-mediated transformation of *Antirrhinum majus* L. *Mol. Genet. Genomics*, 2003, 270, 296-302.

Custers, R. Safety of Genetically Engineered Crops. Flanders Interuniversity Institute for Biotechnology, Zwijnaarde: *Jo Bury, VIB*; 2001.

Darmency, H; Vigouroux, Y; Gestat De Garambé, T; Richard-Molard, M; Muchembled, C. Transgene escape in sugar beet production fields: data from six years farm scale monitoring. *Environ. Biosafety Res.*, 2007, 6, 197-206.

D'Hertefeldt, T; Jørgensen, RB; Pettersson, LB. Long-term persistence of GM oilseed rape in the seedbank. *Biol. Lett.*, 2008, 4, 314-317.

Dutt, M; Li, ZT; Dhekney, SA; Gray DJ. Transgenic plants from shoot apical meristems of *Vitis vinifera* L. "Thompson Seedless" via Agrobacterium-mediated transformation. *Plant Cell Rep.*, 2007, 26, 2101-2110.

Eady, CC; Weld, RJ; Lister, CE. *Agrobacterium tumefaciens*-mediated transformation and transgenic plant regeneration of onion (*Allium cepa* L.). *Plant Cell Rep.*, 2000, 19, 376-381.

Eastham, K; Sweet, J. B. Genetically Modified Organisms (GMOs):

the significance of gene flow through pollen transfer. Environmental Issue Report 28, *Luxembourg: European Environment Agency*; 2002.

Ebinuma, H; Sugita, K; Matsunaga, E; Endo, S; Yamada, K; Komanine, A. Systems for the removal of a selection marker and their combination with a positive marker. *Plant Cell Rep.*, 2001, 20, 383-392.

EFSA. Opinion of the Scientific Panel on Genetically Modified Organisms on the use of antibiotic resistance genes as marker genes in genetically modified plants. *EFSA J.*, 2004, 48, 1-18.

Elliott, AR; Campbell, JA; Dugdale, B; Brettell, RISL; Grof, CPo Green-fluorescent protein facilitates rapid *in vivo* detection of genetically transformed plant cells. *Plant Cell Rep.*, 1999, 18, 707-714.

El-Shemy, HA; Teraishi, M; Khalafalla, MM; Katsube-Tanaka, T; Utsumi, S; Ishimoto, M. Isolation of soybean plants with stable transgene expression by visual selection based on green fluorescent protein. *Mol. Breed.*, 2004, 14, 227-238.

Escobar, MA; Park, JI; Polito, VS; Leslie, CHA; Uratsu, SL; McGranahan, GH; Dandekar, M. Using GFP as a scorable marker in walnut somatic embryo transformation. *Ann. Bot.*, 2000, 85, 831-835,

Gepts, P; Papa, R. Possible effects of (trans)gene flow from crops on the genetic diversity from landraces and wild relatives. *Environ. Biosafety Res.*, 2003, 2, 89-103.

Ghorbel, R; Juárez, J; Navarro, L; Peña, L. Green fluorescent protein as a screenable marker to increase the efficiency of generating transgenic woody fruit plants. *Theor. Appl. Genet.*, 1999, 99, 350-358.

Giannino, D; Nicolodi, C; Testone, G; Di Giacomo, E; Iannelli, MA; Frugis, G; Mariotti, D. Pollen-mediated trans gene flow in lettuce (*Lactuca sativa* L.). *Plant Breed.*, 2008, 127, 308-314.

Goldman, JJ; Hanna, WW; Fleming, G; Ozias-Akins, P. Fertile

transgenic pearl millet [*Pennisetum glaucum* (L.) R. Br.] plants recovered through microprojectile bombardment and phosphinothricin selection of apical meristem-, inflorescence-, and immature embryo-derived embryogenic tissues. *Plant Cell Rep.*, 2003, 21, 999-1009.

Gruber, S; Pekrun, C; Claupein, W. Seed persistence of oilseed rape (*Brassica napus*): Variation in transgenic and conventionally bred cultivars. *J. Agric. Sci.*, 2004, 142, 29-40.

Halfhill, MD; Richards, RA; Mabin, SA; Stewart, CN Jr. Expression of *GFP* and *Bt* transgenes in *Brassica napus* and hybridization with *Brassica rapa*. *Theor. Appl. Genet.*, 2001, 103, 659-667.

Halfhill, MD; Millwood, RJ; Rufty, TW; Weissinger, AK; Stewart CN. Spatial and temporal patterns of green fluorescent protein (GFP) in transgenic oilseed rape, *Brassica napus* L. *Plant Cell Rep.*, 2003a, 22, 338-343.

Halfhill, MD; Millwood, RJ; Rufty, TW; Weissinger, AK; Stewart, CN Jr. Spatial and temporal patterns of green fluorescent protein (GFP) fluorescence during leaf canopy development in transgenic oilseed rape, *Brassica napus* L. *Plant Cell Rep.*, 2003b, 22, 338-343.

Halfhill, MD; Sutherland, JP; Moon, HS; Poppy, GM; Warwick, SI; Weissinger, AK; Rufty, TW; Raymer, PL; Stewart, CN Jr. Growth, productivity, and competitiveness of introgressed weedy *Brassica rapa* hybrids selected for the presence of *Bt crylAc* and *gfp* transgenes. *Mol. Ecol.*, 2005a, 14, 3177-3189.

Halfhill, MD; Millwood, RJ; Stewart CN Jr. Green fluorescent protein quantification in whole plants. *Methods Mol. Biol.*, 2005b, 286, 215-226.

Halford, NG. Plant Biotechnology. Current and Future Applications of Genetically Modified Crops. Chichester: *John Wiley & Sons Ltd.*; 2006.

Hall, L; Topinka, K; Huffman, J; Davis, L; Good, A. Pollen flow between herbicide-resistant *Brassica napus* is the cause of multiple-

resistant *B. napus* volunteers. *Weed Sci.*, 2000, 48, 688-694.

Han, J; Wang, H; Ye, H; Liu, Y; Li, Z; Zhang, Y; Zhang, Y; Yan, F; Li, G. High efficiency of genetic transformation and regeneration of *Artemisia annua* L. via *Agrobacterium tumefaciens*-mediated procedure. *Plant Sci.*, 2005, 168, 73-80.

Harper, BK; Stewart, CN Jr. Patterns of green fluorescent protein expression in transgenic plants. *Plant Mol. Biol. Rep.*, 2000, 18, 141a-141i.

Harper, BK; Mabon, SA; Leffel, SM; Halfhill, MD; Richards, HA; Moyer, KA; Stewart, CN Jr. Green fluorescent protein as a marker for expression of a second gene in transgenic plants. *Nat. Biotechnol.*, 1999, 17, 1125-1129.

Haseloff, J; Amos, B. GFP in plants. *Trends Genet.*, 1995, 11, 328-329.

Haseloff, J; Siemering, KR; Prasher, DC; Hodge, S. Removal of a cryptic intron and subcellular localisation of green fluorescent protein are required to mark transgenic *Arabidopsis* plants brightly. *Proc. Natl. Acad. Sci. U.S.A.*, 1997, 94, 2122-2127.

Haygood, R; Anthony, RI; Andow, DA. Consequences of recurrent gene flow from crops to wild relatives. *Proc. Biol. Sci.*, 2003, 270, 1879-1886.

Heim, R; Prasher, DC; Tsien, RY. Wavelength mutations and posttranslational autooxidation of green fluorescent protein. *Proc. Natl. Acad. Sci. U.S.A.*, 1994, 91, 12501-12504.

Hobbs SLA; Kpodar P; Delong CMO. The effect of T-DNA copy number, position and methylation on reporter gene expression in tobacco transformants. *Plant Mol. Biol.*, 1990 15, 851-864.

Holm, LG; Doll, J; Holm, E; Pancho, J. World Weeds: Natural History and Distribution. Chichester: *John Wiley & Sons*; 1997.

Hraška, M; Rakouský, S. GFP detection in low level signal/noise ratio plant samples. *J. Appl. Biomed.*, 2005, 3, S19.

Hraška, M; Rakouský, S; Kočábek, T. Use of a simple semiquantitative method for appraisal of green fluorescent protein gene expression in transgenic tobacco plants. *Biol. Plant.*, 2005, 49, 313-316.

Hraška, M; Rakouský, S; Čum, V. Green fluorescent protein as a vital marker for nondestructive detection of transformation events in transgenic plants. *Plant Cell Tissue Organ Cult.*, 2006, 86, 303-318.

Hraška, M; Heřmanová, V; Rakouský, S; Čum, V.: Sample topography and position within plant body influence the detection of the intensity of green fluorescent protein fluorescence in the leaves of transgenic tobacco plants. *Plant Cell Rep.*, 2008a, 27, 67-77.

Hraška, M; Rakouský, S; Čum, V. Tracking of the CaMV-35S promoter performance in GFP transgenic tobacco, with a special emphasis on flowers and reproductive organs, confirmed its predominant activity in vascular tissues. *Plant Cell Tissue Organ Cult.*, 2008b, 94, 239-251.

Huber, M; Hahn, R; Hess, D. High transformation frequencies obtained from a commercial wheat (*Triticum aestivum* L. cv. "Combi") by microbombardment of immature embryos followed by GFP screening combined with PPT selection. *Mol. Breed.*, 2002, 10, 19-30.

Itaya, A; Hickman, H; Bao, Y; Nelson, R; Ding, B. Cell-to-cell trafficking of cucumber mosaic virus movement protein: green fluorescent protein fusion produced by biolistic gene bombardment in tobacco. *Plant J.*, 1997, 12, 1223-1230.

Hudson, LC; Stewart, CN. Effects of pollen-synthesized green fluorescent protein on pollen grain fitness. *Sex. Plant Reprod.*, 2004, 17,49-53.

Hudson, LC; Chamberlain, D; Stewart, CN Jr. GFP-tagged pollen to monitor gene flow of transgenic plants. *Mol. Ecol. Notes*, 2001, 1,321-324.

Huber, M; Hahn, R; Hess, D. High transformation frequencies obtained from a commercial wheat (*Triticum aestivum* L. cv. "Combi") by microbombardment of immature embryos followed by GFP screening combined with PPT selection. *Mol Breed.*, 2002, 10, 19-30.

Itaya, A; Hickman, H; Bao, Y; Nelson, R; Ding, B. Cell-to-cell trafficking of cucumber mosaic virus movement protein: green fluorescent protein fusion produced by biolistic gene bombardment in tobacco. *Plant J.*, 1997, 12, 1223-1230.

James, C. 2008. Global Status of Commercialized Biotech/GM Crops 2008. The First Thirteen Years, 1996 to 2008. *Ithaca, NY.: ISAAA Brief No. 39; 2008.*

James, VA; Avart, C; Worland, B; Snape, JW; Vain, P. The relationship between homozygous and hemizygous transgene expression levels over generations in populations of transgenic rice. *Theor. Appl. Genet.*, 2002, 104, 553-561.

Jefferson, RA; Ravanagh, TA; Bevan, MW. GUS fusion: β -glucuronidase as a sensitive and versatile gene fusion marker in higher plants. *EMBO J.*, 1987, 6, 3901-3907.

Joersbo, M. Advances in the selection of transgenic plants using non-antibiotic marker genes. *Physiol. Plant.*, 2001, 111, 269-272.

Joersbo, M; Donaldson, I; Kreiber, J; Petersen, SG; Brunstedt, J; Okkels, FT. Analysis of mannose selection used for transformation of sugar beet. *Mol. Breed.*, 1998, 4, 111-117.

Jordan, MC. Green fluorescent protein as a visual marker for wheat transformation. *Plant Cell Rep.*, 2000, 19, 1069-1075.

Jørgensen, RB. Oilseed rape: Co-existence and gene flow from wild species. *Adv. Bot. Res.*, 2007, 45, 451-464.

Jørgensen, RB; Andersen, B. Spontaneous hybridization between

oilseed rape (*Brassica napus*) and weedy *B.campestris* (Brassicaceae): A risk of growing genetically modified oilseed rape. *Am. J. Bot.*, 1994, 81,1620-1626.

Jørgensen, T; Hauser, TP; Jergensen, RB. Adventitious presence of other varieties in oilseed rape (*Brassica napus*) from seed banks and certified seed. *Seed Sci. Res.*, 2007, 17, 115-125.

Kaeppler, HF; Menon, GK; Skadsen, RW; Nuutila, AM; Carlson, AR. Transgenic oat plants via visual selection of cells expressing green fluorescent protein. *Plant Cell Rep.*, 2000, 19, 661-666.

Kamaté, K; Rodriguez-Llorente, ID; Scholte, M; Durand, P; Ratet, P; Kondorosi, E; Kondorosi, A; Trinh, TH. Transformation of floral organs with GFP in *Medicago truncatula*. *Plant Cell Rep.*, 2000, 19, 647-653.

Khachatourians, GG; McHughen, A; Scorza, R; Nip, W-K; Hui, YH. *Transgenic Plants and Crops*. New York, Basel: *Marcel Dekker, Inc.*; 2002.

Kim, CK; Chung, ID; Park, SH; Burrell, AM; Kamo, KK; Byrne, DH. *Agrobacterium tumefaciens*-mediated transformation of *Rosa hybrida* using green fluorescent protein (GFP) gene. *Plant Cell Tissue Organ Cult.*, 2004, 78, 107-111.

Kjellsson, G; Simonsen, V. *Methods for Risk Assessment of Transgenic Plants. I. Competition, Establishment and Ecosystem Effects*. Basel: *Birkhäuser Verlag*, 1994.

Kjellsson, G; Strandberg, M. *Monitoring and Surveillance of Genetically Modified Higher Plants. Guidelines for Procedures and analysis of Environmental Effects*. Basel, Boston, Berlin: *Birkhäuser Verlag*; 2001.

Klein, TM; Wolf, ED; Wu, R; Stanford, JC. High-velocity microprojectiles for delivering nucleic acids into living cells. *Nature*, 1987, 327, 70-73.

Knapp, JE; Kausch, AP; Auer, C; Brand, MH. Transformation of *Rhododendron* through microprojectile bombardment. *Plant Cell Rep.*, 2001, 20, 749-754.

Knispel, AL; McLachlan, SM; Van Acker, RC; Friesen, LF. Gene flow and multiple herbicide resistance in escaped canola populations. *Weed Sci.*, 2008, 56, 72-80.

Leffel, SM; Mabon, SA; Stewart, CN Jr. Applications of green fluorescent protein in plants. *BioTechniques*, 1997, 23, 912-918.

Légère, A; Simard, MJ; Thomas, AG; Pageau, D; Lajeunesse, J; Warwick, SI; Derksen, DA. Presence and persistence of volunteer oilseed rape in Canadian cropping systems. In: Proc. Brighton Crop Protection Conf. - Weeds. Farnham, Surrey, UK,; *British Crop Protection Council*; 2001, 143-148.

Li, ST; Yang, BY. Gene transfer into isolated and cultured tobacco zygotes by a specially designed device for electroporation. *Plant Cell Rep.*, 2000, 19, 1184-1187.

Li, ZT; Dhekney, S; Dutt, M; Van Arnan, M; Tattersall, J; Kelley, KT; Gray, DJ. Optimizing *Agrobacterium*-mediated transformation of grapevine. *In Vitro Cell. Dev. Biol. - Plant.*, 2006, 42, 220-227.

Lutman, PJW; Berry, K; Payne, RW; Simpson, E; Sweet, JB; Champion, GT; May, MJ; Wightman, P; Walker, K; Lainsbury, M. Persistence of seeds from crops of conventional and herbicide tolerant oilseed rape (*Brassica napus*). *Proc. R. Soc. Lond., B, Biol. Sci.*, 2005, 272, 1909-1915.

Mason, P; Braun, L; Warwick, SI; Zhu, B; Stewart, CN Jr. Transgenic Bt-producing *Brassica napus*: *Plutella xylostella* selection pressure and fitness of weedy relatives. *Environ. Biosafety Res.*, 2003, 2, 263-276.

Maximova, SN; Dandekar, AM; Gultinan, MJ. Investigation of

Agrobacterium-mediated transformation of apple using green fluorescent protein: high transient expression and low stable transformation suggest that factors other than T-DNA transfer are ratelimiting. *Plant Mol. Biol.*, 1998, 37, 549-559.

Mercuri, A; Sacchetti, A; De Benedetti, L; Schiva, T; Alberti, S. Green fluorescent flowers. *Plant Sci.*, 2001, 161,961-968.

Metz, PLJ; Jacobsen, E; Nap, JP; Pereira, A; Stiekema, WJ, The impact on biosafety of the phosphinothricin-tolerance transgene in interspecific *B. rapa* x. *B. napus* hybrids and their successive backcrosses. *Theor. Appl. Genet.*, 1997, 95, 442-450.

Mikkelsen, TR; Andersen, B; Jørgensen RB. The risk of crop transgene spread. *Nature*, 1996a, 380, 31.

Mikkelsen, TR; Jensen, J; Jørgensen, RB. Inheritance of oilseed rape (*Brassica napus*) RAPD markers in a backcross progeny with *Brassica campestris*. *Theor. Appl. Genet.*, 1996b, 92, 492-497.

Miki, B; McHugh, S. Selectable marker genes in transgenic plants: applications, alternatives and biosafety. *J. Biotechnol.*, 2004, 107, 193-232.

Millwood, RJ; Halfhill, MD; Harkins, D; Russotti, R; Stewart, CN Jr. Instrumentation and methodology for quantitative GFP fluorescence in intact transgenic plants. *Biotechniques*, 2003, 24, 638-643.

Misteli, T; Spector, DL. Applications of the green fluorescent protein in cell biology and biotechnology. *Nat. Biotechnol.*, 1997, 15, 961-963.

Molinier, J; Himber, C; Hahne, G. Use of green fluorescent protein for detection of transformed shoots and homozygous offspring. *Plant Cell Rep.*, 2000, 19, 219-223.

Moon, HS; Halfhill, MD; Hudson, LC; Millwood, RJ; Stewart,

CN Jr. Expression of green fluorescent protein in pollen of oilseed rape (*Brassica napus* L.) and its utility for assessing pollen movement in the field. *Biotechnol. J.*, 2006, 1, 1147-1152.

Moon HS; Halfhill MD; Good. LL; Raymer PL; Stewart CN. Jr. Characterization of directly transfected weedy *Brassica rapa* and introgressed *B. rapa* with *Bt cryIIAc* and *gfp* genes. *Plant Cell Rep.*, 2007, 26, 1001-1010.

Nagatani, N; Takumi, S; Tomiyama, M; Shimada, T; Tamiya, E. Semi-real time imaging of the expression a maize polyubiquitin promoter-GFP gene in transgenic rice. *Plant Sci.*, 1997, 124, 49-56.

Niedz, RP; Sussman, MR; Satterlee, JS. Green fluorescent protein: an in vivo reporter of plant gene expression. *Plant Cell Rep.*, 1995, 14, 403-406.

Niwa, Y; Hirano, T; Yoshimoto, K; Shimizu, M; Kobayashi, H. Non-invasive quantitative detection and applications of nontoxic, S65T-type green fluorescent protein in living plants. *Plant J.*, 1999, 18, 455-463

den Nijs, HCM; Bartsch, D; Sweet, J. Introgression from Genetically Modified Plants into Wild Relatives. Oxon, UK: *CABI Publishing*; 2004.

Ow, DW; Wood, KV; Deluca, M; Dewet, JR; Helinski, DR; Howell, SH. Transient and stable expression of firefly luciferase gene in plant cells and transgenic plants. *Science*, 1986, 234, 856-859.

Petri, C; Wang, H; Albuquerque, N; Faize, M; Burgos, L. Agrobacterium-mediated transfection of apricot (*Prunus armeniaca* L.) leaf explants. *Plant Cell Rep.*, 2008, 27, 1317-1324.

Ponappa, T; Brzozowski, AE; Finer, JJ. Transient expression and stable transfection of soybean using the jellyfish green fluorescent protein. *Plant Cell Rep.*, 1999, 19, 6-12.

Poppy, G.M. Geneflow from GM plants-towards a more quantitative risk assessment. *Trends Biotechnol.*, 2004, 22, 436-438.

Prasher, DC; Eckenrode, VK; Ward, WW; Prendergast, FG; Connier, MJ. Primary structure of the *Aequorea victoria* green-fluorescent protein. *Gene*, 1992, 111, 229-233.

Pret'ová, A; Obert, B; Wetzstein, BY. Leaf developmental stage and tissue location affect the detection of b-glucuronidase in transgenic tobacco plants. *Biotechnol. Lett.*, 2001, 23, 555-558.

Richards, HA; Rudas, VA; Sun, H; McDaniel, JK; Tomaszewski, Z; Conger, BV. Construction of a GFP-BAR plasmid and its use for switchgrass transformation. *Plant Cell Rep.*, 2001, 20, 48-54.

Richards, HA; Halfhill, MD; Milwood, RJ; Stewart CN. Quantitative GFP fluorescence as an indicator of recombinant protein synthesis in transgenic plants. *Plant Cell. Rep.*, 2003a, 22,117-121.

Richards, HA; Han, CT; Hopkins, RG; Failla, ML; Ward, WW; Stewart, CN. Jr. Safety assessment of recombinant green fluorescent protein orally administered to weaned rats. *J. Nutr.*, 2003b, 133, 1909-1912.

Scott, SE, Wilkinson, MJ. Transgene risk is low. *Nature*, 1998, 393, 320.

Scott, A; Woodfield; D; White, DWR. Allelic composition and genetic background effects on transgene expression and inheritance in white clover. *Mol. Breed.*, 1998, 4, 479-490.

Sharma, HC; Sharma, KK; Seetharama, N; Oritz, R. Prospects for using transgenic plants resistant to insects in crop improvement. *Electron. J. Biotechnol.*, 2000, 3, 76-95.

Sheen, J; Hwang, S; Niwa, Y; Kobayashi, H; Galbraith, DW. Green-fluorescent protein as a new vital marker in plant cells. *Plant J.*, 1995, 8, 777-784.

Shiina, T; Hayashi, K; Ishii, N; Morikawa, K; Toyoshima, Y. Chloroplast tubules visualized in transplastomic plants expressing green fluorescent protein. *Plant Cell Physiol.*, 2000, 41, 367-371.

Shinomura O. Structure of the chromophore of *Aequorea* green fluorescent protein. *FEBS Lett.*, 1979, 104, 220-222.

Simard, MJ; Légère, A; Pageau, D; Lajeunesse, J; Warwick, S. The frequency and persistence of canola (*Brassica napus*) volunteers in Quebec cropping systems. *Weed Technol.*, 2002, 16, 433-439.

Snow, AA. Transgenic crops - why gene flow matters. *Nat. Biotechnol.*, 2002, 20, 542.

Stewart, CN Jr. Monitoring transgenic plants using in vivo markers. *Nat. Biotechnol.*, 1996, 14, 682.

Stewart CN Jr, Richards HA, Halfhill MD Transgenic plants and biosafety: science, misconceptions and public perceptions. *BioTechniques*, 2000, 29, 832-843.

Stewart, CN Jr. The utility of green fluorescent protein in transgenic plants. *Plant Cell Rep.*, 2001, 20, 376-382.

Stewart, CN Jr. Genetically Modified Planet: Environmental Impacts of Genetically Engineered Plants. New York: *Oxford University Press*; 2004.

Stewart, CN Jr. Monitoring the presence and expression of transgenes in living plants. *Trends Plant Sci.*, 2005, 10, 390-396.

Stewart, CN Jr. Go with the glow: fluorescent proteins to light transgenic organisms. *Trends Biotechnol.*, 2006, 24, 155-162.

Stewart, CN Jr; Richards, HA; Halfuill, MD. Transgenic plants and biosafety: science, misconceptions and public perceptions. *BioTechniques*, 2000, 29, 832-843.

Stewart, CN Jr; Halfhill, MD; Warwick, SI. Transgene introgression from genetically modified crops to their wild relatives. *Nat. Rev. Genet.*, 2003, 4, 806-817.

Sunilkumar, G; Mohr, L; Lopata-Finch, E; Emani, C; Kathore, KS. Developmental and tissue-specific expression of a CaMV 35S promoter in cotton as revealed by GFP. *Plant Mol Biol.*, 2002, 50, 463-474.

Tamura, M; Togami, J; Ishiguro, K; Nakamura, N; Katsumoto, Y; Suzuki, K; Kusumi, T; Tanaka, Y. Regeneration of verbena (*Verbena x hybrida*) by *Agrobacterium tumefaciens*. *Plant Cell Rep.*, 2003, 21, 459-466.

Taniguchi, T; Kurita, M; Ohmiya, Y; Kondo, T. *Agrobacterium tumefaciens*-mediated transformation of embryogenic tissue and transgenic plant regeneration in *Chamaecyparis obtusa* Sieb. et Zucc. *Plant Cell Rep.*, 2005, 23, 796-802.

Thomas, AG; Breve, MA; Raymer, PL. Influence of timing and method of harvest on rapeseed yield. *J. Prod. Agric.*, 1991, 4, 266-272.

Tsien, RY. The green fluorescent protein. *Annu. Rev. Biochem.*, 1998, 67, 509-544.

UN. Genomic analysis of *Brassica* with special reference to the experimental formation of land its peculiar mode of fertilization. *Jpn. J. Bot.*, 1935, 7, 389-452.

Vain, P; Worland, B; Kohli, A; Snape, JW; Christou, P. The green fluorescent protein (GFP) as a vital screenable marker in rice transformation. *Theor. Appl. Genet.*, 1998, 96, 164-169.

Van Der Geest, AHM; Petolino, JF. Expression of modified green fluorescent protein gene in transgenic maize plants and progeny. *Plant Cell Rep.*, 1998, 17, 760-764.

Warwick, SI. Transgenic crops: New weed problems for Canada? *Phytoprotection*, 1999, 80, 71-84.

Warwick, SI; Simard, MJ; Legere, A; Beckie, HJ; Braun, L; Zhu, B; Mason, P; Seguin-Swartz, G; Stewart, CN Jr. Hybridization between transgenic *Brassica napus* L. and its wild relatives: *Brassica rapa* L., *Raphanus raphanistrum* L., *Sinapis arvensis* L., and *Erucastrum gallicum* (Wild.) O.E. Schulz. *Theor. Appl. Genet.*, 2003, 107, 528-539.

Williamson, JD; Hirsch-Wyncott, ME; Larkins, BA; Gelvin, SB. Differential accumulation of a transcript driven by the CaMV 35S promoter in transgenic tobacco. *Plant Physiol.*, 1989, 90, 1570-1576.

Wilkinson, MJ; Sweet, J; Poppy, GM. Risk assessment of GM plants: avoiding gridlock? *Trends Plant Sci.*, 2003a, 8, 202-212.

Wilkinson, MJ; Elliott, U; Allainguillaume, J; Shaw, MW; Norris, C; Welters, R; Alexander, M; Sweet, J; Mason, DC. Hybridization between *Brassica napus* and *B. rapa* on a national scale in the United Kingdom. *Science*, 2003b, 302, 457-459.

Wright, M; Dawson, J; Dunder, E; Suttie, J; Reed, J; Kramer, C; Chang, Y; Novitzky, R; Wang, H; Artim-Moore, L. Efficient biolistic transformation of maize (*Zea mays* L.) and wheat (*Triticum aestivum* L.) using the phosphomannose isomerase gene, *pmi*, as the selectable marker. *Plant Cell Rep.*, 2001, 20, 429-436.

Xue, R-G; Xie, H-F; Zhang, B. A multi-needle-assisted transformation of soybean cotyledonary node cells. *Biotechnol. Lett.*, 2006, 28, 1551-1557.

Yang, F; Moss, LG; Phillips, GN Jr. The molecular structure of green fluorescent protein. *Nat. Biotechnol.*, 1996, 14, 1246-1251.

Zhou, X; Chandrasekharan, MB; Hall, TC. High rooting frequency and functional analysis of GUS and GFP expression in transgenic *Medicago truncatula* A17. *New Phytol.*, 2004, 162, 813-822.

Zhou, X; Carranco, R; Vitha, S; Hall, TC. The dark side of green fluorescent protein. *New Phytol.*, 2005, 168, 313-322.

Zhu, YJ; Agbayani, R; Moore, PH. Green fluorescent protein as a visual marker for papaya (*Carica papaya* L.) transformation. *Plant Cell Rep.*, 2004, 22, 660-667.

الفصل الثامن

بناء استشرافات حقيقية في منظومات إدارة أمراض المحاصيل

*Kathleen Baker¹, Phillip Wharton², Jeffrey Stein³, Joel Paz⁴
and William Kirk*

¹Westem Michigan University, Department of Geography

²University of Idaho, Department of Plant, Soil and
Entomological Sciences

³South Dakota State University, Plant Biology Department

⁴University of Georgia, Department of Agricultural and
Biological Engineering

⁵Michigan State University, Department of Plant Pathology

ملخّص

الغرض من هذا الفصل هو وصف الحاجة إلى تطوير استشرافات لإدارة مخاطر أمراض المحاصيل في الولايات المتحدة على نحو أفضل، إضافة إلى التقدّم الأخير الذي تحقّق في هذا المجال. فقد طُوّرت خطط استراتيجية لمكافحة الحشرات (PMSP) (Pest Management Strategic Plans) لجميع المحاصيل الرئيسية في الولايات المتحدة (USDA, 2008a). وبتسهيلات من وزارة الزراعة الأميركية،

قام مزارعون واتحادات السلع وخبراء تخصيص أراضي الدولة ومستشارون زراعيون ووكالات حماية البيئة بوضع خطط تعالج احتياجات مكافحة الحشرات، وحددوا أولوياتها للمحاصيل الزراعية المختلفة في ولايات أو مناطق معينة. وفي ورقة استعراضية لتلك الخطط، تشتمل على جميع المحاصيل الزراعية الرئيسية في الولايات المتحدة (الذرة وفول الصويا والقمح والبطاطا والفسق السوداني مثلاً)، أعطت تلك الخطط الحاجة إلى تطوير نماذج إدارة تنبئية من أجل استشراف الأمراض الأولوية العليا.

لقد استعملت نماذج استشراف الطقس لتقدير الظروف البيئية المواتية المخاطر الوبائية، والتوصيات المبيدات الفطريات المناسبة لتلك المخاطر، طوال 50 عاماً (Beaumont, 1947; Cook, 1949; Wallin & Schuster, 1960). إن تلك النماذج تعمل على الحد من نفقات المزارعين وتقليل مقادير المواد الكيميائية التي تنتشر في البيئة، مع تحقيق سيطرة أمثلة على المرض. لكن برغم أنها كانت ناجحة في تقليل استعمال المبيدات الزراعية، فإن أحد مثالبها هو أنها تستعمل بيانات طقس في الزمن الحقيقي في أحسن الأحوال، في حين أن تضمين بيانات استشرافات أوسع نطاقاً في منظومات مكافحة الأمراض يمكن أن يجعلها أعلى قيمة بتوفير تنبؤات بظروف المخاطر التي قد تمتد على بضعة أيام قبل حدوثها.

في هذا الفصل، سوف نشرح مستقبل منظومة متعددة المستويات والمناطق والمحاصيل، لاستشراف بأمراض المحاصيل. وتقوم تلك المنظومة على مصادر البيانات المتاحة للعموم، وعلى البنية التحتية المعلوماتية التي تمهّلها الهيئة الوطنية للعلوم، إضافة إلى منظومات المعلومات في الويب. والمزارعون الذين سوف يستعملون استشرافات تلك المنظومة سوف يكونون أقدر على تنفيذ استراتيجيات متكاملة لمكافحة الحشرات، مقلّصين استعمال المبيدات وما يقترن بها من مفاعيل سلبية في صحة الإنسان وجودة البيئة. إن فريقنا المتعدد الاختصاصات، يجمع خبرات علماء أمراض النبات والعاملين في الأرصاد الجوية والجغرافيين وخبراء المناخات الزراعية وخبراء مهنيين معاً، وذلك من خلال التعاون في ما بين مُلاك الأراضي الممنوحة من الدولة مع معاهد للبحث.

وفي دراسة لإثبات مفهوم أن منظومة من هذا النوع سوف تكون مفيدة في منظومات زراعية مختلفة في الولايات المتحدة، نَصّف مشاريع مُولّت أخيراً، إضافة

إلى التطورات الحالية في استشرافات شاملة توافرها الويب لثلاثة أمراض زراعية في ثلاث مناطق من الولايات المتحدة: بقع أوراق الفستق السوداني في جورجيا وشمال فلوريدا، وآفة رأس المغزلاوية (Fusarium) في الشعير في السهول الكبرى الشمالية، وآفة البطاطا المتأخرة (Late Blight of Potato) في ميشيغان. وبالاستفادة من استشرافات الطقس الشاملة والمتوسطة ومنظومات المعلومات الموجودة في الويب، نعمل على جعل تلك المعلومات متاحة للاستعمال المباشر من قبل مزارعي محاصيل الغذاء المهمة اقتصادياً. وسوف يؤدي ضبط النماذج ومقارنة مهارات النمذجة وانسياب البيانات الخاصة بالمناطق والمحاصيل المختلفة إلى تحسينات للنموذج وتوفير دائم لتنبؤات موثوقة على نطاق أوسع خلال بضع سنوات قادمة.

تقديم

نشرت وزارة الزراعة الأميركية في عام 2004 خارطة طريق وطنية للإدارة المتكاملة لمكافحة الحشرات. وإدارة مكافحة الحشرات هي عملية اتخاذ قرار تحد من مخاطر الحشرات وتقلصها، واستراتيجية مكافحة للحشرات من خلال الاستعمال المنظم لعلم أحياء الحشرات والمعلومات البيئية والتكنولوجيا المتوفرة لدرء المستويات غير المقبولة من أضرارها بأكثر الوسائل اقتصادية، مع تقليل تعرض الناس والممتلكات والموارد والبيئة إلى مخاطرها إلى أدنى حد ممكن. وأحد أهداف خارطة الطريق الوطنية هو تحديد الاتجاهات الاستراتيجية لبحوث إدارة مكافحة الحشرات المتكاملة وتنفيذها وإجراء قياسات على جميع الحشرات في كافة الأوضاع على مستوى البلاد بأسرها (USDA 2004). وأحد متطلبات البحث الرئيسية المدرجة في خارطة الطريق كان «تطوير منظومة مراقبة حيوية وبيئية اقتصادية عالية الدقة لتحسين قدرتنا على التنبؤ بظهور الحشرات وتقدير أضرارها وتحديد عتبات اتخاذ الإجراءات الضرورية لمكافحتها». يُضاف إلى ذلك أنه قد جرى تطوير خطط استراتيجية لإدارة مكافحة الحشرات في إطار خارطة الطريق الوطنية لجميع المحاصيل الرئيسية في الولايات المتحدة (USDA, 2008a). وبدعم من وزارة الزراعة الأميركية، طوّر هذه الخطط مزارعون واتحادات السلع وخبراء بالأراضي الممنوحة من الدولة ومستشارون زراعيون ووكالة حماية البيئة، وهي موجهة لتحقيق احتياجات مكافحة الحشرات وأولويات الهيئات المختلفة، خاصة الولايات أو المناطق (NSF Center

(for Integrated Pest Management, 2008). وفي مراجعة للخطط الاستراتيجية لمكافحة الحشرات لجميع المحاصيل الرئيسية في الولايات المتحدة (أي الذرة وفول الصويا والقمح والبطاطا والفسق السوداني)، جرت الإشارة إلى أن الخطط جميعاً أدرجت الحاجة إلى تطوير نماذج إدارة تنبئية فاعلة لاستشراف أمراض المحاصيل كأولوية عليا.

ثمة أنواع كثيرة من أمراض المحاصيل المهمة اقتصادياً على صلة وثيقة بظروف طقس موسم الزراعة. فدرجة حرارة الجو، ورطوبة الغطاء النباتي المقترنة بالندى والمتساقطات، وسرعة الرياح واتجاهها، وأشعة الشمس، ودرجة حرارة التربة، وتوافر الماء، جميعها يمكن أن يسهم في التأثيرات الحيوية المتبادلة بين العامل الممرض والمضيف. ونتيجة لذلك يعتمد عدد متزايد من المنظومات الخبيرة بأمراض النبات على تقديرات مخاطر المرض القائمة على ظروف الطقس المحلي من أجل اتخاذ قرارات إدارة ذات مغزى. وقد وصف ماغراي وآخرون (Magarey et al., 2002) بشكل جيد الحاجة إلى منظومات دعم للقرار ومنظومات الطقس المؤتمتة المقترنة بها، ومواقع بياناتها في الإنترنت.

لقد تفاقمت الحاجة إلى المنظومات التنبئية بسبب التغيرات الأخيرة في أنماط طقس موسم الزراعة (Baker et al., 2005). وتُري الأدلة الرصدية اليوم أن تغيرات المناخ الإقليمية "تؤثر كثيراً في المنظومات البيئية الحيوية الأرضية" (Intergovernmental Panel on Climate Change [IPCC], 2007). وقد حصلت أكثر التغيرات جلاء في مواعيت الأحداث الربيعية، وفي توزع أجناس المحاصيل. وبناءً على هذا الدليل، يُتوقع أن تزداد الإنتاجية قليلاً في معظم المناطق بسبب ارتفاع درجة الحرارة الناجم عن الاحتباس الحراري في الأرض. إلا أن هذا الارتفاع في درجة الحرارة سوف يترافق أيضاً باحتمال متزايد لظروف قاسية منها الجفاف والظوفان واضطرابات أخرى (IPCC, 2007). وسوف يجد المزارعون أن من الصعب التكيّف مع ابتعاد أنماط مواسم الزراعة عمّا ألفوه في خبراتهم الشخصية. وفي حالة من هذا القبيل، يمكن لمنظومات الاستشراف الجيدة أن تساعد المزارعين على اتخاذ قرارات الإدارة الملائمة في الوقت المناسب.

تقوم نماذج استشراف الطقس بمحاكاة حاسوبية رقمية لجو الأرض، ولذا تتطلب عادة موارد حسابية هائلة من أجل حساب تغير حالة الطقس المتوقعة

مع الزمن باستعمال الفيزياء وعلم حركة السوائل. لقد زاد التقدُّم في استشراف الطقس، وتوافر نماذج الاستشراف، على المستوى الوطني والإقليمي، كثيراً من جدوى التطبيقات الاستشرافية في كثير من المجالات. فمنذ عام 2003، حَسَّن تطوُّر جودة بيانات الاستشراف المتاحة للعموم، التي توافرها خدمة الطقس القومية، جذرياً مزايا تلك البيانات في استعمالها في النمذجة الزراعية والبيئية (Carrol and Maloney, 2004). والنماذج المنقَّحة تعطي احتمالات عالية الدقة للمتساقطات ودرجات حرارة المواسم الدافئة، وكل منهما مهم لتطبيقات علم أمراض النبات.

إن الغرض الشامل من هذا الفصل هو وصف الحاجة إلى تطوير استشرافات حقيقية من أجل إدارة مخاطر أمراض المحاصيل على نحو أفضل في الولايات المتحدة، إضافة إلى نواحي التقدُّم فيها في الآونة الأخيرة. وفي إطار إثبات مفهوم أن الاستشرافات سوف تكون مفيدة ومُجدية في كثير من منظومات المحاصيل في الولايات المتحدة، نَصِف مشاريع مُولت حديثاً، مع التطوُّرات الراهنة في الاستشرافات التي توافرها الويب لثلاثة أمراض نباتات في ثلاث مناطق من الولايات المتحدة: بقع أوراق الفستق السوداني في الجنوب الشرقي، وآفة رأس المغزلاوية في الشعير في شمال السهول الكبرى، وآفة البطاطا المتأخرة في منطقة البحيرات الكبرى. وبالاستفادة من بيانات استشراف الطقس المتعددة المستويات، وفي منظومة توفير المعلومات في الويب، يمكن إتاحة معلومات الاستشراف للاستعمال المباشر من قبل مزارعي المحاصيل الغذائية الهامة اقتصادياً.

منظومات دعم القرار القائمة على الطقس

استُعملت نماذج التنبؤ القائمة على الطقس لتقدير الظروف البيئية المواتية لمخاطر الإصابة بالأوبئة، وتقديم التوصيات بالمبيدات الملائمة لتلك المخاطر، طوال أكثر من 50 سنة (Beaumont, 1947; Cook, 1949; Wallin & Schuster, 1960). وتعمل تلك النماذج على الحد من إنفاق المزارعين على مكافحة الأمراض، وتقليل مقادير المواد الكيميائية التي تُطلق في البيئة بسببها، مع تحقيق سيطرة أمثلية عليها. ومع أن تلك المنظومات كانت ناجحة في تقليص استعمال المبيدات، فإن أحد مثالها هو أنها تستعمل بيانات طقس في الزمن الحقيقي في أحسن الأحوال، في حين أن تضمين بيانات استشراف أوسع نطاقاً في منظومة مكافحة مخاطر الأمراض يمكن

أن تجعل تلك المنظومات أعلى قيمة من حيث توفيرها للتنبؤ بظروف المخاطر قبل عدة أيام من حدوثها. وتتبع نمذجة أمراض المحاصيل المتقدمة توصيات تقرير وزارة الزراعة الأميركية رقم 18 لعام 2006 الذي يدعم إنشاء منظومات إنذار مبكر لأمراض النبات. والمزارعون الذين يستعملون استشرفات أمراض النبات المحددة سوف يكونون أقدر على تنفيذ استراتيجيات مكافحة الحشرات المتكاملة، مقلّصين استعمال المبيدات ومفاعيلها السالبة في صحة الإنسان وجودة البيئة، وفقاً لما نصّت عليه خارطة الطريق الوطنية لمكافحة الحشرات (USDA, 2004).

ولإيضاح مزايا منظومات دعم القرار القائمة على استشرف الطقس في الولايات المتحدة، سوف نناقش ثلاثة أمراض نباتات مهمة اقتصادياً بالتفصيل، لأن كلاً من هذه الأمراض يؤثر في محاصيل الغذاء في مناطق مختلفة من البلاد. وسوف نسلط الضوء على التوجّهات الأخيرة في مكافحة كل مرض، وعلى المفاعيل الاقتصادية للأوبئة الأخيرة، والحالة الراهنة لمنظومات دعم القرار والاستشرف لمساعدة المزارعين على مكافحة المرض. وسوف نراجع أيضاً مفاعيل التغيّر المناخي الأخير، وتأثيرات المناخ الإقليمية في المنظومة الزراعية.

بقع أوراق الفستق السوداني

أدت أمراض بقع الأوراق إلى تساقط كثيف لأوراق أصناف الفستق الواسعة الانتشار في جنوب شرق الولايات المتحدة، وإلى تقليص مردودها (Culbreath, Kemerait, & Breneman, 2006). ونركّز هنا اهتمامنا على ولاية جورجيا التي تقع في مقدمة منتجي الفستق في البلاد، فهي تُنتج نحو 40% من الإنتاج الأميركي الكلي. وأكثر من ذلك، إنها تقع في مقدّمة مصدّري الفستق في الولايات المتحدة، فهي تُسهم بأكثر من 90 مليون دولار في موازنة البلاد التجارية. وفي عام 2005، قُدّرت أضرار بقع أوراق الفستق السوداني (*Cercospora Arachidicola*) في جورجيا بـ 6.3 مليون دولار، وقُدّرت تكاليف السيطرة على المرض بـ 35.7 مليون دولار (Kemerait, 2006). وتشتمل أعراض المرض على بقع صغيرة بنية إلى سوداء على السطح العلوي للأوراق المنخفضة، وتتوسّع تلك البقع وتصبح محاطة بهالة صفراء (NSF Center for IPM, 2008). ويؤدي تساقط أوراق النبات إلى انخفاض المردود حين القطف إذا لم يُسيطر على المرض جيداً بالرش بالمبيدات.

يستعمل مزارعو الفستق المبيدات الفطرية عادةً وفقاً لمواعيد معينة، إلا أنه وُضعت أخيراً إرشادات تقوم على الطقس من أجل استعمال المبيدات على نحو أكثر دقة زمنياً (Bailey, 1999). وتُستعمل في هذا الطريقة عتبة لدرجة الحرارة والرطوبة النسبية تظهر عندها بقع الأوراق المبكرة والأمراض الأخرى (Bailey, 1994, 1999). ويمكن لاتباع الإرشادات القائمة على الطقس، والخاصة باستعمال مبيد الفطر بغية السيطرة على بقع الأوراق المبكرة، أن يقلص من عدد مرات نشر المبيد اللازمة للسيطرة الجيدة على المرض (Jordan et al., 1999). وتُتخذ إجراءات مماثلة في شمال كارولينا بفرجينيا، وهي المناطق التي أشارت إليها الخطط الاستراتيجية لمكافحة الحشرات (USDA, 2008a).

وتُستعمل في طريقة AU-PNUT لمكافحة بقع الأوراق، التي طوّرتها جامعة أوبرن (Auburn)، معدلات هطل المطر واستشرفها كمؤشرات إلى نداوة الأوراق وظهور البقع عليها (Davis, Jacobi, & Backman, 1993; Jacobi & Backman, 1995; Davis, Jacobi, Backman, & Brannen, 1995). وتُستعمل في منظومات استشرف أخرى أيضاً الرطوبة النسبية أو نداوة الأوراق مع درجة الحرارة لاستشرف الظروف المواتية لتطور المرض، ومن ثمّ جدولة رش المبيد الفطري (Grichar, Jaks, & Besler, 2005). إلا أن ديفيس وآخرين (Davis et al., 1993) وجدوا أن عدد الأيام التي يحصل فيها هطل مطر بمعدل لا يقل عن 2.5 مليمترًا هو أفضل متغيّر بيئي يمكن استعماله لجدولة رش المبيدات الفطرية بغية مكافحة بقع أوراق الفستق السوداني. ويمكن لاتباع إرشادات المبيدات القائمة على الطقس أن يؤدي إلى استعمال لمبيد الفطريات الورقية أقل من ذلك الذي تحدده جداول الرش القائمة على المواقيت (Linville & Drye, 1995).

ونظراً إلى أن هطل المطر هو سبب شائع لنداوة الأوراق، فإن مقدار الهطل اليومي يحدّد مدة تلك النداوة (Getz, 1981). وقد استُقصيت في دراسات أخرى تأثيرات درجة الحرارة ومدة النداوة (رطوبة نسبية تساوي 95% أو تزيد عليها) في إصابة أوراق الفستق بالبقع (Shew, Beute, & Wynne, 1988; Wu, Damicone, Duthie, & Melouk, 1999). ونموذج أو كلاهما لبقع أوراق الفستق، الذي طوّره عالمو أمراض النبات (Wu, Damicone, & Jackson, 1996; Wu et al., 1999)، هو أداة إدارة قائمة على الطقس يمكن استعمالها لجدولة نشر المبيدات الفطرية لبقع الأوراق المبكرة.

آفة رأس المغزلاوية في الشعير

تُعتبر آفة رأس المغزلاوية (Fusarium Head Blight) التي يسببها فطر غيريًّا زي (Gibberella zeae) حالياً أهم أمراض الشعير اقتصادياً في السهول الكبرى الشمالية. لم يكن ذلك هو الحال دائماً، لكن قبل بداية تسعينات القرن العشرين كانت إصابة آفة رأس المغزلاوية تحصل على نحو متفرق، ولم تلقَ اهتماماً جيداً من علماء أمراض النبات والمزارعين. فقد تغيرت الحال بعد أن بدأ المزارعون في المنطقة بتبني إجراءات الحراثة المحافظة في ثمانينات القرن العشرين التي أدت إلى زيادة كبيرة في بقايا الحبوب على سطح التربة (McMullen, Jones, & Gallenberg, 1997). ويعيش فطر غيريًّا زي في الشتاء ضمن بقايا من ذلك النوع، ويُنتج ذيفاناً ازدادت وفرته نتيجة لهذا التغير في ممارسات الإنتاج (Osborne & Stein, 2007). وفي عام 1993، عانت المنطقة من وباء شديد واسع الانتشار يُعتقد أنه سبب تغيرات سلبية مهمة في الاقتصادات الريفية (McMullen et al., 1997; Windels, 2000). وحصلت أوبئة هذه الآفة منذئذٍ بانتظام، واستمر إنتاج الشعير في المنطقة بالتدني من حيث القيمة والمساحة المزروعة. فعلى سبيل المثال، كانت قيمة الشعير المنتج في مناطق داكوتا ومينيسوتا في عام 1992 نحو 450 مليون دولار (USDA, 2008b)، وأصبحت في عام 2006 مجرد 150 مليون دولار فقط.

تحصل الخسائر الناجمة عن آفة رأس مغزلاوية الشعير بطريقتين. في الأولى يسبب الفطر إصابة مباشرة لنسيج الأزهار تؤدي إلى انخفاض في المردود يتناسب تقريباً مع عدد الزهورات المصابة. وفي الثانية التي هي أهم، يمكن لجودة حبوب المحصول المصاب أن تنخفض لأن هذا الفطر يُنتج الذيفان الفطري دياوكسيفالينول (Deoxynivalenol). وعندما يتراكم هذا الذيفان إلى مستويات تتجاوز 0.5 جزءاً من مليون (وهذه عتبة الكشف عند مصعد الحبوب في الصومعة)، يمكن أن يحصل تدنٌ شديد في مواصفات الحبوب وأن يؤدي أحياناً إلى رفض تام لكل الحبوب في الحقل. لكن يمكن تقليص الخسائر الناجمة عن الآفة على نحو كبير من خلال استراتيجية متكاملة تجمع بين الانتقاء في تنوع البذور وإدارة مخاطر التعرض للذيفان (قرارات إجراء دورة زراعية مثلاً)، واستعمال مبيد فطريات فاعل في الوقت المناسب عند البزوغ التام للرأس. ومن ناحية أخرى، فإن الأنواع المتكيفة من الشعير الناشئ

المزروع في المنطقة عُرضة للإصابة بفطر رأس المغزلاوية أيضاً، ولذا يجب رش المبيد الفطري قبل العدوى كي يكون فعالاً تماماً. وثمة بضعة طرائق للحد من مستويات الذيفان الذي يصل إلى نبات المحصول الإفرادية بسبب المقدار الهائل من الحبوب المتبقية في الأرض (Osborne & Stein, 2007).

ومن حيث الجوهر، ليس لدى معظم منتجي شعير الجعة من خيار سوى استعمال مبيد الفطريات بوصفه خطوة أولية للمكافحة، ويمكن أن يستفيدوا كثيراً من منظومة إرشادية في الويب توافر استشرافات الطقس لمساعدتهم على اتخاذ قرارات المكافحة. وقد مولت مبادرة جرب القمح والشعير الأميركية، وخدمة البحث الزراعي التابعة لوزارة الزراعة الأميركية مشروعاً في المنطقة يقوده أحد مؤلفي هذه المقالة لدى جامعة ولاية داكوتا الجنوبية لتطوير نماذج تجريبية من أجل تقدير شدة المرض وتركيز الذيفان الفطري في الشعير باستعمال بيانات الطقس التاريخية، أي الطقس قبل بزوغ رأس النبات كاملاً. ويجري تطوير نماذج الجيل الأول التي سوف تُختبر دقتها في الحقل في أثناء موسم عام 2009 الزراعي.

آفة البطاطا المتأخرة

تبقى آفة البطاطا المتأخرة التي تسببها الفطريات البيضية (Oomycete) المعروفة بفطر عفونة البطاطا (*Phytophthora Infestans*) أكثر الأمراض فتكاً بالبطاطا في شتى أنحاء العالم، وهي تسبب أضراراً مالية كبيرة من حيث خسائر المحصول وأثمان كيموايات مكافحتها. وفي الولايات المتحدة، تُعتبر الظروف مثالية لانتشارها بوجود فترات من الرطوبة العالية وهطل المطر المتكرر ودرجات الحرارة المعتدلة (15-26°C) (Baker et al., 2005). وفي ظروف من هذا النوع، يمكن للمرض أن ينتشر بسرعة كبيرة جداً، ويُحتمل أن يؤدي إلى تساقط أوراق النبات كلياً في غضون 3 أسابيع بدءاً من أول إصابة مرئية إذا لم تُتخذ إجراءات مضادة له (Stevenson, Kirk, & Atallah, 2007). وقبل عام 1992، كان من السهل السيطرة على فطر عفن البطاطا (النوع المتزاوج A₁) باستعمال مبيد فطري قائم على الميتالاكسيل (Metalaxyl)، إلا أن نوعاً جديداً شرساً (US8)، النوع المتزاوج A2 غير الحساس للميتالاكسيل) حل محل السلالة المستنسخة محلياً. وفي أوروبا، ظهرت سلالة شرسة أيضاً (الزرقاء 13) في عام 2006 ذات مدة تأخير أقصر ويمكن أن تؤدي إلى سقوط الأوراق في غضون

14 يوماً (Shaw, Nagy, Evans, & Deahl, 2007). وهذه السلالة منتشرة الآن في غرب أوروبا (D. Cooke, اتصال شخصي). وفي الولايات المتحدة، تتعرض أوراق معظم أنواع البطاطا المتوافرة تجارياً حالياً لخطر عفن البطاطا الحالي على نحو شديد (Inglis, Johnson, Legard, Fry, & Hamm, 1996) برغم أن بعض التقدم قد تحقّق أخيراً في إنتاج أنواع من البطاطا المقاومة للمرض (Douches et al., 2001; Stevenson et al., 2007b).

وتساعد الظروف البيئية أثناء موسم الزراعة في شمال المنطقة المركزية من الولايات المتحدة كثيراً على تطوّر وباء آفة البطاطا المتأخّرة، وتتسبب بخسائر مالية كبيرة، من حيث حماية المحصول (ما يصل حتى 700 دولار للهكتار) وتلفه (ما يصل حتى 5000 دولار للهكتار)، حينما تكون إجراءات مكافحة الآفة غير ناجعة (Guenther, Michael, & Nolte, 2001). فليس ثمة مبيد فطريات قيد الاستعمال حالياً يجد كلياً من تطوّر آفة البطاطا المتأخّرة، حتى إن الحقول المحمية برش مبيدات فطرية مدة خمسة أيام بمعدل أعظمي من المادة الفاعلة يمكن أن تصاب بالعدوى حينما تكون الظروف البيئية مساعدة على تطوّر الآفة (Mayton, Forbes, Mizubuti, & Fry, 2001; Stein & Kirk, 2002, Kirk et al., 2005). لذا فإن تقدير الظروف المساعدة والاستعمال الصحيح للمبيدات مهان لمكافحة الآفة، لأن النبات يبلغ مرحلة إصابة الأوراق بنسبة 100% بعد 25 يوماً تقريباً من العدوى الأولية (Baker et al., 2005). ومع ازدياد أعداد متعضيات الآفة (Shaw et al., 2007, Young et al., 2009)، تزداد الحاجة إلى منظومات إدارة تنبئية حقيقية لها، مثل تلك التي وصفها بايكر وكيرك (Baker and Kirk, 2007)، وإلى منظومات تنفيذ من مثل التي وصفها وارتن وآخرون (Wharton, Kirk, Baker, & Duynslager, 2008).

وثمة مزية أخرى للمنظومات التنبئية في هذا المجال هي قدرتها على التنبؤ جيداً بمخاطر الآفة في الظروف التي لا تعمل فيها النماذج المعتادة جيداً. ويتضمن عمل لارج (Large, 1956) مثلاً لمزايا نماذج منظومات الاستشراق المتوسط النطاق مقارنة بنماذج التنبؤ الشامل الشائعة. فقد أنشأ لوحات إظهار لتاريخ حدوث آفة البطاطا المتأخّرة في مناطق مبعثرة في إنجلترا. وأظهرت اللوحات توزعاً متجانساً نسبياً للآفة المتأخّرة في سنة حصل فيها وباء مقارنة بانتشار متفرّق في سنة لم تكن وبائية. وتميّزت سنوات الآفة بطقس غائم بارد مع هطل غزير للمطر في جميع أنحاء

البلاد خلال معظم موسم زراعة المحصول. وفي بيئة باردة رطبة من هذا النوع، مالت الظروف المحلية إلى محاكاة الظروف الواسعة النطاق التي تتصف بها منظومات الطقس العامة التي تؤثر في البلاد كلها. وفي السنوات التي لم تكن فيها آفة، تميّز الطقس بكونه حاراً وجافاً ومشمساً. وفي هذه الظروف الواسعة النطاق، تهيمن منظومات طقس ضيقة النطاق، مثل العواصف، لا تظهر آثارها إلا محلياً. وفي السنوات الخالية من الآفة التي من هذا النوع يمكن لخرائط الاستشراق المتوسطة النطاق أن توافر صورة أفضل للمناطق التي من المرجح أن تعاني من ظهور المرض. ويمكن للمثال السابق أن يفسّر سبب عدم عمل نماذج آفة البطاطا المتأخرة في المناطق شبه الجافة المنتجة للبطاطا في مناطق الشمال الغربي على المحيط الهادي (إيداهو، وأوريغون، وواشنطن). في هذه المناطق، يتصف الطقس بأنه حار وجاف ومشمس غالباً، والري فيها ضروري لمحصول البطاطا. إن معظم نماذج الاستشراق لآفة البطاطا المتأخرة طُوّرت في شرق الولايات المتحدة وأوروبا حيث يتصف الطقس عموماً بأنه أبرد وأكثر نداوة، مع هطل غزير للمطر خلال مواسم الزراعة. أما في منطقة الشمال الغربي عند المحيط الهادي فيأتي معظم هطل المطر المحدود ضمن منظومات طقس صغيرة النطاق، مثل العواصف. ونتيجة لذلك، حينما تظهر آفة البطاطا المتأخرة، تنزع إلى أن تكون متمركزة في مناطق حدوث العواصف. وفي بعض الحالات يمكن لظهور الآفة أن يكون مترابطاً حتى مع مسار العاصفة في المنطقة (ج. ميلر J. Miller، اتصال شخصي).

ليست أمراض النبات التي نوقشت آنفاً سوى بضعة من الأمراض ذات الصلة الوثيقة بظروف الطقس المحلي، وهي تحدّ من الإنتاج الرابع لعدد من المحاصيل. فثمة أمراض منتشرة متعلقة مباشرة برطوبة الغطاء النباتي تحتاج إلى استراتيجيات مشابهة لإدارة المخاطر والسيطرة عليها. وتشتمل تلك الأمراض على الخضراوات وأنواع البطيخ المختلفة، ومنها آفة أوراق البصل (الحرشفية المعنقدة (Botrytis Squamosa))، وعفن البندورة الدروري (Powdery Mildew) والفطر النخري (Anthracnose) الذي يُصيب البطيخ الأحمر. وفي ما يخص العنب وأشجار الفواكه، ثمة جرب التفاح (فطر التبّع (Venturia Inaequalis)) وبقع الدراق الجرثومية (خبز الغراب الأصفر (Xanthomonas Campestris)) والآفة النارية (إروينيا أميلوفورا (Erwinia Amylovora))، وعفن عنقود العنب (العفن الرمادي

(Botrytis Cinerea)، وتلك ذات الحبيبات الصغيرة، ومنها عفن البازلاء الجافة الأبيض (الصُّلبياء القاسية (Sclerotinia Sclerotiorum)) وعفن القمح الذَّروري.

تغيُّر المناخ

في حين أن المناقشة السابقة تفسّر دور الاستشراق في منظومة كل سلعة، فإن تغيُّر المناخ يتطلّب مزيداً من الدعم لهذا النوع من العمل. فمع تغيُّر مواقيت أحداث الدفء الربيعي وأنماط التساقطات (IPCC, 2007)، من غير المرجح أن تعبر الخبرة الشخصية للمزارعين الأفراد بدقة عن الأحداث الموسمية المتنامية التي عليهم التعامل معها في السنوات القادمة. إن استمرار التغيُّر الذي وُثّق في القرن الماضي سوف يؤدي إلى زيادة طفيفة في إنتاجية المحاصيل في معظم مناطق الولايات المتحدة، وذلك بسبب التوجُّه العام لدرجة الحرارة نحو الارتفاع. إلا أن هذه الزيادة المتوقَّعة ممتزجة بزيادة احتمال حصول أحداث قاسية، منها الجفاف والظوفان واضطرابات أخرى (IPCC, 2007). لذا يمكن لمنظومات الاستشراق أن تساعد المزارعين على تعديل استراتيجيات إدارتهم من أجل مواجهة هذه الظروف المتغيِّرة على نحو أفضل.

تقرن أوبئة آفة البطاطا المتأخّرة التي يسببها فطر عفونة البطاطا بظروف مبلولة ودرجات حرارة معتدلة (Harrison, 1992). ويُتوقَّع أن يؤدي التغيُّر المناخي إلى مخاطر متزايدة لانتشار أوبئة الآفة المتأخّرة في جميع القارات التي تُزرع فيها البطاطا (Hijmans, Forbes, & Walker, 2000). يؤثر ارتفاع الحرارة في إنتاش الأبوغ (Goodwin, Sujkowski, & Fry, 1995)، ومعدّل نمو الفطر (Kirk, 2003b) وتوليد الذيفانات، وفي استمرارية بقاء فطر عفونة البطاطا (Zwankhuizen, Govers, & Zadoks, 1998)، ولذا فإن استمرار درجات الحرارة الإقليمية بالارتفاع ينطوي على إمكانات كبيرة لتحفيز المرض. فحيز درجات الحرارة، الذي تتطوّر ضمنه أنواع ذلك الفطر الشائعة في الولايات المتحدة وأوروبا، عريض نسبياً، وتشير التقديرات الحديثة إلى أن حيز نمو الفطر يمكن أن يمتد من 15 درجة مئوية تحت الصفر حتى 35 درجة (Dandurand, Knudsen, & Eberlein, 2006; Kirk, 2003b). وكانت بضع دراسات عن الحيز الحراري لنمو الأبوغ، وعن عناصر أخرى لنشوء الوباء (Goodwin et al., 1995)، مع أن هذه السلالة نادراً ما تتعافى في الطبيعة. وقد حدّد هرسون (Harrison, 1992) الخصائص الحرارية لنمو هذه

السلالة المنتشرة في أنحاء الأرض كافة، ووجد أن أكثر الظروف ملائمة لإنتاش الأبواغ غير المباشر (تكوّن أكياس الأبواغ التي يحتوي كل منها على 5-10 بوغ) هي تلك التي تحت الدرجة 20 °C ، وأن درجة الحرارة الأمثلية لها تساوي 12-13°C ، وأن أكثر الظروف ملائمة للإنتاش المباشر تحصل فوق الدرجة 20°C (درجة الحرارة الأمثلية 24°C, Mizubuti and Fry, 1998). وتشير التقارير الحديثة إلى أن مجموعات الأنواع الجينية المهيمنة من فطر عفن البطاطا، والتقديرات الحالية لها، معروفة فقط للسلالة المنتشرة عالمياً (US1) التي تتصف بقابلية التغيّر ضمن المجموعات، وفي ما بين المجموعات، من حيث تغيّرات الاستجابات الحرارية، ويمكن لهذا أن يؤثّر في تطوّر الوباء (Kirk 2003a, 2003b).

يمكن لفطر عفن البطاطا أن يسبّب عدوى للمحصول في الأعوام المتعاقبة من خلال سببته الشتوي في درنات البطاطا المصابة أو في أكوام البطاطا المهملّة، أو الدرنات التلقائية النمو (Zwankhuizen et al., 1998). وتحصل الخسائر الناجمة عن الآفة نتيجة لتساقط أوراق النبات وتلف الدرنات، ويمكن أن تترتب خسائر كبيرة نتيجة التخزين اللازم لمعالجة الدرنات المصابة عند درجات حرارة تزيد على 7 درجات مئوية (Kirk, Niemira, & Stein, 2001). وقد يكون تحمّل درجات حرارة التجمد لفطر عفن البطاطا آلية بقاء مهمة من الناحية البيئية الحيوية، ويمكن للتحمّل الزائد لـ US-8 و US-14 أن يفسّر انتشارهما في المناخات الباردة في مناطق مثل شمال وسط الولايات المتحدة (Kirk, 2003a, 2003b). من ناحية أخرى، من الصعب تقدير احتمال إصابة سيقان البطاطا أو الأوراق البازغة من درنة مصابة، لأن ثمة كثيراً من العوامل التي يمكن أن تؤثّر في مصير الدرنات المصابة، باعتبار أن درجة الحرارة هي أحد أهم تلك العوامل (Kato, Mizubuti, Goodwin, & Fry, 1997).

وتُري بيانات المناخ أن الشتاءات التي هي أكثر دفئاً في ميشيغان ترافقت بمتساقطات أقل (Isard & Schaetzl, 1998). وتشير الإسقاطات المناخية إلى ميل نحو استمرار ارتفاع درجة الحرارة الناجم عن الاحتباس الحراري، مع احتمال للمتساقطات في جميع الفصول (IPCC, 2007). وإذا كانت درجة حرارة التربة متجهة نحو الاعتدال وفقاً لما هو متوقّع (ومقاس)، خاصة في فترة الشتاء، فإن احتمال بقاء درنات تلقائية النمو في التربة أو ضمن النفايات أو الحصى، سوف يزداد في مناطق الإنتاج المعتدلة في الشتاء، ويزداد معه احتمال إصابة الدرنات بالآفة. وقد جرى تبيان أن فطر عفن البطاطا قادر على تحمّل درجات حرارة قريبة من درجة

التجمُّد (Kirk, 2003b). لذا فإن حرارة الشتاء المعتدلة تؤدي إلى حالة موالية لبقاء كل من المضيف والعامل المُمرض في ظروف الشتاء. ويمكن لهذا أن يؤدي إلى زيادة في ظهور نباتات بطاطا تحمل عدوى يمكن أن تبتدئ وباء موسمياً.

وقد تُوقَّعت مخاطر كبيرة من حصول وباء آفة البطاطا المتأخرة في نفس المنطقة خلال الفترة من عام 1950 حتى عام 2000 بسبب تغيُّر الظروف في المواسم الزراعية (Baker et al., 2005). وحصلت عتبات ابتداء الرُّش المعتادة (MacKenzie, 1981) باكراً في المواسم، وغدت الظروف خلال منتصف الصيف أبرد وأكثر نداوة أيضاً، وهذا ما أدى إلى مزيد من الأيام الملائمة لتطور الآفة (Baker et al., 2005).

وأثَّرت التوجُّهات المناخية أيضاً في إنتاج الفستق السوداني. فأكثر من نصف حقول الفستق في جورجيا مروية (Harrison, 2004)، ولذا دفعت فترات الجفاف الطويلة، المماثلة لتلك التي حصلت في عام 2007، المزارعين إلى القيام بالري على نحو أكثر تكراراً، وأدَّى ذلك إلى ازدياد تكلفة الإنتاج، وإلى تفاقم المفاعيل السلبية في مصادر المياه العمومية. وتزيد الشتات الدافئة ودرجات الحرارة العالية عموماً من عمر الحشرات ومعدلات نموها ونمو الأعشاب الطفيلية، ومن نمو وانتشار وبقاء أمراض النباتات الأخرى، لأن النباتات الندية تشجع إنتاش الأبواغ وانتشار الفطريات والجراثيم (Rosenzweig, Iglesias, Yang, Epstein, & Chivian, 2000). وعلى سبيل المثال، أزاح مزارعو الفستق في العقد الماضي مواعيد الزرع من أوائل شهر نيسان/ إبريل إلى شهر أيار/ مايو بسبب أنواع محسَّنة من الفستق أقل عرضة لخطر الإصابة بفيروس بقع ذبول البندورة (الطمطم) حين زرعها في أيار/ مايو (Culbreath, Todd, & Brown, 2003; Olatinwo et al., 2008). فمواقيت الزرع المثلى تتغيَّر قليلاً من سنة إلى أخرى، إلا أن تجنب الزرع المبكر والمتأخر يقلِّص عموماً من حدوث الذبول المبقَّع في جورجيا ومن وطأته (Brown et al., 2005). وقد بيَّنت دراسات مواقيت زراعة الفستق أن ذروة عدد الأبواغ الناضجة كانت أكبر في حالة الفستق المزروع في نيسان/ أبريل أو حزيران/ يونيو منها في حالة الفستق المزروع في أيار/ مايو (Baldwin et al., 2001; McKeown, Todd, Culbreath, Gorbet, & Weeks, 2001).

وخلال مئة السنة الأخيرة، ازدادت في جنوب داكوتا درجة الحرارة بنحو درجة مئوية واحدة، وازدادت المتساقطات بعشرين في المئة في كثير من أجزاء الولاية

(Environmental Protection Agency [EPA], 1998). وتشير إسقاطات المناخ الإقليمية الحديثة إلى أن درجات الحرارة سوف تستمر في الارتفاع، خاصة في أشهر الصيف في وسط شمال أميركا (IPCC, 2007). ويُتَوَقَّع أن تزداد التساقطات في الخريف والشتاء والربيع، وأن تتناقص في الصيف. وفي حالة الأحداث المتطرفة، يُتَوَقَّع أن يكون 19% من فصول الربيع في العقد القادم كثيرة الأمطار جداً، في حين أنه يُتَوَقَّع أن يكون 15% من فصول الصيف شديد الجفاف (IPCC, 2007). وترتقي السهول الشمالية الكبرى في الولايات المتحدة لتكون من ضمن أكثر المناطق حساسية للتغيرات المناخية من حيث درجة الحرارة والتساقطات، مقارنة بالأراضي الزراعية في أنحاء العالم الأخرى. وفي ما يخص آفة رأس مغزلاوية الشعير، يعني ازدياد درجات الحرارة أن الزراعة الربيعية يمكن أن تحصل باكراً، ويُتَوَقَّع ابتداء الرش في وقت مبكر من الفصل أيضاً. لكن هذه التوقعات يمكن أن تُحرق بالرطوبة الشديدة في الربيع، مُجبرة المزارعين على تأخير الزرع حتى تنخفض الرطوبة لتصبح ملائمة للنمو.

منظومات دعم القرار القائمة على الويب

بعيداً عن المحاصيل التي وُصفت بالتفصيل آنفاً، جرى تطوير وتقييم نماذج تنبؤ بالأمراض لطيف واسع من المحاصيل في شتى أنحاء العالم. وتستعمل هذه النماذج عادة درجات الحرارة والرطوبة دخلاً لها من محطات مؤتمتة لقياس موسطات الطقس ضمن الغطاء النباتي الموجود في الموقع، أو من محطات مناظرة بعيدة عن الموقع (Wallin & Schuster, 1960; MacKenzie, 1981; Disease Model Database, 2001). وتنطوي نماذج التنبؤ بأمراض النبات على إمكانات كبيرة للمساعدة على تلبية احتياجات المزارعين في تطبيق استراتيجيات إدارة جديدة وفقاً لما ورد في خارطة طريق مكافحة الحشرات. إلا أنه لا يمكن الاستفادة منها تماماً إلا حين استعمالها لاتخاذ قرارات تخص مكافحة أمراض النباتات في بيئة إنتاج. وتدمج منظومات دعم القرار جميع المعلومات ذات الصلة من أجل وضع إرشادات الرش. وعادة، كان يُنتظر من المزارعين وغيرهم أن يشترخوا محطات طقس خاصة بهم، وبرمجيات لنمذجة الأمراض، أو ملخص بيانات المخاطر نفسه للاستفادة من قياسات الظروف الجوية في عمليات اتخاذ القرار. ومع تطوُّر الابتكارات التقنية، تُجمع البيانات، إما من

قبل المزارعين، أو من قبل مرشد زراعي، ثم تُعطى إلى حاسوب مركزي لتحليلها، أسبوعياً أو على فترات اعتباطية (Krause et al., 1975; Bootsma, 1979). ثم تُتاح تقديرات مخاطر الأمراض للمزارعين عبر الإذاعة والتلفزيون، أو عبر خطوط هاتفية ساخنة. ومع أن منظومات دعم القرار عبر الهاتف، والمنتشرة في أنحاء البلاد كافة، كانت ناجحة في شرق الولايات المتحدة (Fry, 1977)، فإنها غالية وتحتاج إلى تفرُّغ المزارع والمرشد الزراعي لتشغيلها وصيانتها. يُضاف إلى ذلك، أن فائدة المعلومات يمكن أن تكون محدودة بسبب التأخير الناجم عن تحصيل بيانات الطقس ومعالجة وإرسال توصيات الإدارة.

وبعد اختراع الإنترنت في منتصف تسعينات القرن العشرين، طوّر الباحثون منظومة دعم قرار جديدة تستعمل إمكانات اتصالات الإنترنت السريعة والواسعة الانتشار. ومعظم هذه المنظومات مؤتمت ويجمع البيانات من شبكات طقس مؤتمتة وفقاً لجدول زمني منتظم. ويمكن لهذا الجدول أن يُحدّث على فترات تختلف من مرة كل 15 دقيقة حتى مرة كل 24 ساعة. وثمة عدة أمثلة لهذا النوع من المنظومات في المنشورات، وقد نُشرت لعدة أنواع من المحاصيل، من البطاطا وفول الصويا وحتى القمح (De Wolf et al., 2005; Wharton et al., 2008). والمزية الرئيسية لهذه المنظومات هي أنها تفاعلية عبر الإنترنت، وتسمح للمزارعين بالوصول إلى توصيات مبنية على الطقس والموقع عبر حواسيبهم الشخصية من دون شراء عتاديات أو برمجيات إضافية.

يجب اعتبار منظومات دعم القرار جزءاً لا يتجزأ من منظومة مكافحة الحشرات المتكاملة، ومن الضروري إدراك أن معلوماتها سوف تزيد من كفاءة استراتيجيات سيطرة المزارعين على الأمراض، من دون زيادة مخاطرها. وتشير مراجعة سريعة للمنشورات الحالية إلى أن منظومات دعم القرار أكثر شيوعاً في أوروبا والولايات المتحدة. وقد يكون سبب ذلك وجود تشريعات صارمة مضادة للحشرات في الاتحاد الأوروبي، ووجود برامج عديدة لضمان سلامة الإنتاج في الويب. وبرغم أن تلك البرامج هي برامج غير إلزامية، فإن المزارعين يشعرون بأن عليهم المشاركة فيها من أجل بيع منتجاتهم إلى كبار التجار. وتشجع هذه البرامج استعمال خطط مكافحة الحشرات المتكاملة، وتدعو إلى عدم استعمال المبيدات إلا إذا كان ذلك ضرورياً جداً.

بذلك وإضافة إلى تقليص عدد مرات الرش اللازمة للقضاء على الأمراض، يمكن استعمال تلك المنظومات بوصفها مصدراً للنصائح، ووسيلة تسويق نشر المبيدات في حالات كون عدد الرشات محدوداً بالقانون.

ويوجد لدى جامعة ولاية ميشيغان موقع ويب لإدارة مخاطر مرض آفة البطاطا المتأخرة، وهو يعمل منذ عام 2000. وهذا مجرد مثال لموقع ويب كان ناجحاً جداً واكتسب تأييداً قوياً من المزارعين. وباستعمال هذا الموقع في الأوقات التي يكون فيها احتمال ظهور ذلك الوباء قليلاً، أمكن للمزارعين تقليص عدد مرات رش مبيد الفطريات على محاصيلهم كثيراً أثناء مواسم زراعتها (Wharton et al., 2008). وقد مولت لجنة صناعة البطاطا في ميشيغان جزءاً كبيراً من تكلفة إنشاء وتحديث وصيانة هذا الموقع، وتحسين أي منظومة ناجحة لدعم القرار، وتحديد أولويات أصحاب المصلحة هو عملية مستمرة ودائمة فيه. ويجري تحصيل آراء ذوي العلاقة بوسائل مختلفة. أولاً، من خلال التحدث إلى المزارعين أثناء الزيارات الحقلية، ولقاءات لجنة مكافحة الحشرات المتكاملة الحقلية، والاجتماعات مع ممثلي صناعة البطاطا. وثانياً، من خلال استعمال روابط الاتصال [على الويب] التي تمكن المستعملين من إرسال بريد إلكتروني من خلال موقع الويب. وثالثاً، من خلال استعمال إحصائيات الموقع. فالبرامج، مثل تحليل إحصائيات غوغل (Google Analytics)، تدعم جمع إحصائيات مفصلة (مغفلة المصدر) عن استعمال الزوار للموقع (مثلاً نوع محرك البحث والكلمات المفتاحية التي يستعملونها) وعن تفاعلهم معه (الصفحات التي هي أكثر شعبية، والمدة التي يقضيها المستعمل في صفحة معينة). وهذا ما يمكن العاملين في البحث من تخصيص الموارد لدورات التدريب والتأهيل، وللمبادرات التي تحسّن خبرة المستعمل وهو في زيارة للموقع. ويشتمل تقييم الجوانب التأهيلية لنماذج الاستشراف واتساعها على تقييم استعمال المزارعين للموقع. وكانت منظومة إدارة مخاطر مرض آفة البطاطا المتأخرة لدى جامعة ولاية ميشيغان ناجحة جداً من حيث إنها تستقبل 60000 زيارة في الشهر (تعادل نحو 3500 زائر مختلف) أثناء موسم الزراعة. ويتبع نحو 40% من المزارعين في ميشيغان توصيات موقع الجامعة لإدارة محاصيل البطاطا. ونظراً إلى تركيز زراعة البطاطا في مزارع كبيرة دعمت تطوير المنظومة، نقدر أن 90% تقريباً من مساحات زراعة البطاطا في ميشيغان تُدار من

خلال معارف اكتسبت من برنامج إدارة مكافحة آفة البطاطا المتأخرة (Wharton et al., 2008).

استشراق الطقس

الحاجة إلى استشراق صحاحه

سوف نركّز الاهتمام هنا على ثلاثة محاصيل تطلبت تاريخياً كميات كبيرة من مبيدات الفطريات، وأدرك المزارعون والمعنيون والمرشدون الزراعيون بسببها الحاجة إلى تطوير منظومات إنذار مبكر خصيصاً لها. وقد ضغطت لجنة صناعة البطاطا في ميشيغان، التي تمثل مزارعي البطاطا فيها، من أجل تطوير منظومة استشراق المرض منذ عام 1999 (ب. كودوا (B. Kudwa)، اتصال شخصي) عندما لم تكن نماذج الاستشراق ذات دقة كافية للاستعمال الكثيف في الزراعة. ودعمت اللجنة أيضاً البحث في تأثير المناخ المتغير في ابتداء رش مبيدات الفطريات، وفي أوبئة آفة البطاطا المتأخرة (Baker, Kirk, Andresen, & Stein, 2004; Baker et al., 2005). وقدمت لجنة السلع الزراعية في جورجيا الخاصة بالفسق دعماً مماثلاً. وتلقى مختصو الأمراض الزراعية في جنوب وشمال داكوتا ومينيسوتا طلبات من أجل مصادر للمعلومات عن آفة رأس مغزلاوية الشعير أكدوا فيها الحاجة إلى منظومات إرشاد وتنبؤ من ذلك النوع.

استشراق أمراض المحاصيل

تتباين تطبيقات الاستشراق الزراعية كثيراً من حيث اتساعها. ومع ظهور مبادرات بحوث تغير المناخ، تُستعمل استشراق طويلة الأجل لتحديد أنماط الطقس الفصلية أو اليومية المتوقعة في السنوات القادمة (Seem, 2004). وتُطور الاستشراق الفصلية غالباً بمقارنة البيانات المناخية المؤرشفة ببيانات أحداث معينة معروفة. ويمكن تكوين استشراق فصلية بأي مقدار تتوافر له كميات ملائمة من البيانات (Challinor et al., 2003; Large, 1956). وتُستعمل نماذج الدورة الجوية الكوكبية العامة لاستشراق مفاعل تغير المناخ والظواهر الأرضية الأخرى. ويمكن لمُخرجات نماذج حركات الدوران [للتيارات المائية والهوائية] لنمذجة حركة الدورة الجوية العامة أن تُعدّل لتصبح مناطقية وتتوافر تقديرات للقيم اليومية ضمن ظروف

جوية مختلفة. وفي حين أن فائدة تلك النماذج العامة قد اختُبرت من حيث وصف مخاطر الأمراض (Seem et al., 2000)، فإن الذين يعتمدون على سلامة النبات في معيشتهم يهتمون غالباً بالاستشرافات القصيرة الأجل لمناطق محددة.

وتوفر إدارة خدمة الطقس الوطنية (NWS) (National Weather Service) عادة استشرافات يومية وأخرى ذات مدى أطول، واستشرافات الطقس حتى 10 أيام قبل حصولها. ومن تشغيل نموذج خدمة الطقس الوطنية على النطاق الشامل، توافر إحصائيات النموذج إرشادات مخصصة للمواقع من أجل التطبيقات المختلفة. ويمكن استعمال تلك الإحصائيات لاستشراف متغيرات ذات صلة بالأرصاد الجوية مباشرة. ووفقاً لما هو مذكور لاحقاً، استعملت تنبؤات إحصائيات خرج نموذج (MOS) (Model Output Statistics) غطّي 60 ساعة من استشرافات خدمة الطقس الوطنية في أوائل تسعينات القرن العشرين، وذلك لاستشراف فترات الرطوبة النسبية العالية لمصلحة نماذج مكافحة أمراض النباتات، لكن بمستوى من الدقة مشكوك فيه (Wilks and Shen, 1991). ويمكن لإحصاءات خرج النموذج العام أن تُستعمل أيضاً في إجراءات تحديد نوع الطقس اليومي. إن تحديد نوع الطقس اليومي مفيد خصوصاً في تطبيقات الطقس التي تعتمد التنبؤ بتشكيلات معينة من متغيرات الطقس (Cheng et al., 2004). وطرائق تحديد نوع الطقس اليومي شائعة في علم أمراض النبات عندما تكون لمرض النبات بيئة معرّفة تنقل العدوى في أي نقطة من دورة المرض (De Wolf & Isard, 2007).

وتتطلب الاستشرافات الشاملة بمخاطر المرض اليومي أو الأسبوعي، واللازمة لاستعمالها من قبل المزارعين في أثناء موسم الزراعة، دقة عالية وتوفراً لموارد حسابية هائلة، أو لبيانات استشراف متاحة للعموم. وفي العقود الأخيرة، لم تكن استشرافات خدمة الطقس الوطنية دقيقة بقدر كاف لضمان تطبيقها على نطاق واسع في دعم القرار الزراعي. وكانت فائدتها من ناحية التنبؤات المباشرة بالرطوبة النسبية محدودة بمركبة نقطة الندى المحددة في الإرشادات القائمة على إحصائيات خرج النموذج في تسعينات القرن العشرين (Wilks & Shen, 1991). وحينما ضُمَّت بيانات مشابهة في استشرافات احتمالية لفئات مخاطر آفة البطاطا المتأخرة، أو لتحديد الطقس اليومي، بدت نتائج المحاكاة مقبولة للاستعمال في الحقل، لكن ضمن إطار زمني محدود فقط. وتوافر معرفة كافية لإجراء تنبؤات تغطي 24 ساعة، تناقصت المساحة الموجودة تحت منحني تطوّر المرض بنحو 5% في حالة العدوى الحقلية بالآفة المتأخرة (Raposo et

(al., 1993). إلا أن تلك النتائج كانت صعبة التأكيد بسبب الافتقار إلى معرفة ذيفان العدوى وطريقة المحاكاة التي أُتبعت في التحليل.

وأنتجت استشرافات شاملة واسعة النطاق تقوم على إحصائيات خرج النموذج، وتشتمل على درجات الحرارة العظمى والصغرى لمدة 192 ساعة، وذلك من قبل إدارة خدمة الطقس الوطنية منذ عام 1994، باستعمال نموذج منظومة الاستشراف العامة (Global Forecast System) (GFS) الرقمي. ومنذ عام 2003، حسّنت دقة استشرافات خدمة الطقس الوطنية جذرياً فائدة هذه البيانات في النمذجة الزراعية والاقتصادية (Carroll & Maloney, 2004). وفي الآونة الأخيرة، طوّر بايكر وكيرك (Baker and Kirk, 2007) طريقة لاشتقاق متغيّرات طقس ساعية مقترنة بمخاطر آفة البطاطا المتأخّرة من إحصائيات خرج النموذج المتوافرة التي أنتجتها خدمة الطقس الوطنية. ثم أُدخِلت تلك البيانات إلى خوارزمية حاسوبية لشبكة عصبونية صناعية ولدت استشرافات دقيقة بمخاطر الآفة المتأخّرة حتى خمسة أيام في المستقبل.

لقد لاقَت الشبكات العصبونية الصناعية رواجاً في منشورات التنبؤ بكل من الطقس والمرض في عدة السنوات السابقة. فقد نُمدجت بواسطتها حركة المرض وتمّ استكمال متغيّرات الامتداد المستقبلي المكاني بالطقس والعلاقة بين الطقس وأنماط المرض (De Wolf & Franci, 2000; Charkraborty et al., 2004) بنجاح. وغالباً ما تكون نماذج الشبكات العصبونية أكثر دقة من النماذج المطوّرة بطرائق أخرى (De Wolf & Franci, 2000). ومن حيث استشراف الطقس، طُوّرت نماذج شبكات عصبونية أخيراً من أجل التنبؤ بدرجة حرارة الهواء (Jain, McClendon, & Hoogenboom, 2006; Smith, McClendon, & Hoogenboom, 2006) ودرجة حرارة نقطة تكوّن الندى (Shank, Hoogenboom, & McClendon, 2008a) ودرجة حرارة نقطة تكوّن الندى (Shank, McClendon, Paz, & Hoogenboom, 2008b) للتطبيقات الزراعية. واستعمل (Jain et al., 2006) بيانات الطقس من شبكة جورجيا المؤتمتة لمراقبة البيئة (Georgia Automated Environmental Monitoring Network) (AEMN)، (Hoogenboom, 2000) وطوّر نموذج شبكة عصبونية صناعية للتنبؤ بدرجة الحرارة ساعة بساعة على مدى 12 ساعة يومياً في الشتاء. وحسّن سميث وآخرون (Smith et al., 2006) نماذجهم وطوّروا شبكات عصبونية صناعية للتنبؤ بدرجة حرارة الهواء على مدار السنة لكامل ولاية جورجيا. وطوّر شانك وآخرون (Shank et al., 2008a)

شبكات عصبونية صناعية ثلاثية الطبقات ذات انتشار خلفي للخطأ، وذلك للتنبؤ مسبقاً بدرجة حرارة تكوّن الندى على مدى 12 ساعة لمحطات شبكة جورجيا المؤتمتة لمراقبة البيئة. واستعمل في دراسة أخرى نهج مجموعة الشبكات بمزج نماذج شبكات عصبونية فصلية مع أوزان عناصرها التي حُدِّدت باستعمال تابع نوع ضبابية عضوية يقوم على رقم اليوم من السنة (Shank et al., 2008b). وأعطت نماذج المجموعات تلك أخطاء أقل من تلك التي تعطيها نماذج التنبؤ على مدار السنة غير القائمة على مجموعات الشبكات.

وكان نموذج تنبؤ قائم على الشبكات العصبونية الصناعية، طوّره بايكر وكيرك (Baker and Kirk, 2007) باستعمال متغيّرات مشتقة من بيانات استشراف شامل بالطقس من إحصائيات خرج نموذج خدمة الطقس الوطنية، ناجحاً في التنبؤ باحتمال وباء آفة البطاطا المتأخّرة، مع إعطاء قيم عددية لشدة المرض. وكانت طرائق الشبكات العصبونية الصناعية أكثر نجاحاً من الطرائق الإحصائية الشائعة الأخرى في التنبؤ بخطر المرض أثناء فترات الاحتمال العالي. فقد اشتُقّت بواسطته درجات الحرارة العظمى والصغرى، وتغطية الغيم، وسرعة الرياح، واحتمال العدوى خلال 12 ساعة، واحتمال التساقطات في 24 ساعة، وقيم استشرافية لكميات التساقطات، مباشرة من إحصائيات خرج نموذج خدمة الطقس الوطنية. واشتُقّت قيم درجات الحرارة ساعة بساعة، من أجل حصول الآفة المتأخّرة، من تنبؤات خدمة الطقس الوطنية لدرجات الحرارة العظمى والصغرى اليوميّتين باستعمال نموذج جيبي أسّي (Sine-Exponential Model) معدّل لتحقيق الاستمرارية في الزمن (Ephrath, Goudriaan, & Marani, 1996). وجرى إدماج الجوار المكاني والتشابه المناخي في النموذج بوصفها متغيّرين إضافيين من أجل احتساب التغيّرات الجغرافية لأمكنة المواقع. وثمة نموذج إرشادي عام يتألف من 12 محطة فقط، مع سجلات أرشيف طويلة، وقيمت فائدته أول مرة على المستوى المحلي بمساعدة منحة من المركز الوطني لإدارة مكافحة الحشرات المتكاملة.

ووسّع النموذج الإرشادي لاستعماله مع 48 محطة في ولاية ميشيغان، وجرى تدريبه باستعمال بيانات مواسم الزراعة في الأعوام 2003-2005. واستعملت مواسم الزراعة في عامي 2006 و2007 للتحقق منه. ودُقِّقت دقة التنبؤات لجميع المحطات والسنوات بمقارنة قيم شدة آفة البطاطا المتأخّرة المتنبأ بها بتلك المحسوبة باستعمال

البيانات المناخية المحلية الخام. وكانت النتائج الأولية لدقة نموذج آفة البطاطا المتأخرة هذا في ميشيغان نحو 81% من أجل تنبؤات خمسة أيام في جميع المواقع في أثناء أشهر موسم الزراعة من أعوام 2003-2007. (Baker et al., 2007). وهذه دقة أعلى على نحو ملحوظ من القيم المتوقعة على أساس المعايير المناخية (77%). استعمل النموذج من خلال الويب من قبل مزارعي البطاطا في ميشيغان بدءاً من موسم زراعة عام 2009. وثمة مشاريع مشابهة في جامعة ولاية داكوتا الجنوبية تهتم باستشراق آفة رأس مغزلاوية الشعير، وأخرى في جامعة جورجيا، تهتم باستشراق ببقع أوراق الفستق الحلبي. وتوصف استشراقات الطقس المتوسطة النطاق بأنها ذات ميز مكاني يقع بين ميز استشراقات النطاق الشامل وميز استشراقات النطاق الضيق. وتسمح الطبيعة المنطقية لهذه الاستشراقات بتغيرات أكثر في التنبؤ على مساحات صغيرة نسبياً. ونظراً إلى أن المتغيرات ذات الصلة بالزراعة تتغير مكانياً كثيراً غالباً، توجد للاستشراقات المتوسطة النطاق فوائد جمة في منظومات دعم القرار. وفي الواقع اهتم المختصون بأمراض النبات بإمكان القيام بالاستشراق المتوسط النطاق منذ ما قبل أن تكون البيانات التي من هذا النوع متاحة أو مفهومة تماماً (Royer et al., 1989). ففي الأصل، كانت الاستشراقات المتوسطة النطاق لظروف مناظرية يمكن قرنها ببيئات شاملة معينة (Schwartz et al., 1987). ومع الازدياد الهائل في الطاقة الحسائية وتخزين البيانات أثناء تسعينات القرن العشرين، تبيّنت مزايا النماذج المتوسطة النطاق في تحسين الدقة، إلا أن تعقيد تعيين موسطاتها والطاقة الحسائية اللازمة لها حدثت من فائدتها للعموم (Cortinas & Stensrud, 1995).

التوجهات الأخيرة في تعميم بيانات الطقس

في محاولة لتعميم الوصول إلى البيانات، أصبح النفاذ إلى النماذج الشاملة والمتوسطة النطاق، ذات شبكات الإحداثيات المكانية، متاحاً الآن لطيف واسع من الباحثين عبر بوابة البيئات المترابطة للاستكشاف الجوي (Linked Environments for Atmospheric Discovery) (LEAD). وفي عام 2003، مولت الهيئة الوطنية للعلم رسمياً البوابة المذكورة من خلال منحة كبيرة لبحوث تكنولوجيا المعلومات (Large Information Technology Research) (ITR). وتعمل البوابة الآن وتوافر إمكانات لإجراء حسابات عالية السرعة للاستشراقات الشاملة والمتوسطة النطاق

من خلال شبكة بنية الحاسب التحتية (TeraGrid). وتتيح بوابة البيئات المترابطة للاستكشاف الجوي بيانات الأرصاد الجوية ونماذج الاستشراق وأدوات التحليل والإظهار لأي شخص يريد استكشاف الطقس تفاعلياً أثناء تغيره (LEAD, 2008). وتجمع البوابة كل الموارد الضرورية معاً في نقطة نفاذ مريحة واحدة مدعومة بـ منظومات حساب عالية السرعة. وقد مَوَّل مشروع البوابة خصيصاً بحيث لا يبقى المستشرفون الجويون والباحثون والمربون والطلاب مجرد متفرجين أو مقتصرين على بيانات ساكنة أو صور مسبقة التوليد، بل يمكن أن يصبحوا مشاركين فاعلين يستطيعون الحصول على المعلومات ومعالجتها بأنفسهم (LEAD, 2008). وهذه بيئة مثالية للولوج إلى مقادير كبيرة من البيانات والطاقة الحاسوبية لا تتوافر عادة في علم أمراض النبات.

وتُحسَّن برمجيات البوابة الأعمال التجريبية بأتمتة كثير من المهام المعقدة والمستنزفة للوقت ذات الصلة بعلم الأرصاد الجوية. وتجمع أداة تدفق المعلومات إدارة البيانات وفهمها واستشراقها وتطبيقات التحقق منها في تجربة واحدة. ومن المزايا الكبرى لتلك البوابة التنسيق المتزامن لانسياب العمل وإدارة البيانات ضمن إطار عمل خدمات الويب. ويتيح انسياب العمل ذلك استعمال أدوات تحليل ونماذج استشراق ومخازن بيانات ليس في تشكيلة ثابتة، أو على شكل مستقبل ساكن للبيانات، على غرار بحوث الأرصاد الجوية وتكنولوجيات الاستشراق الحالية، بل بوصفها منظومات شبكية متكيفة مع التغيرات وفق الحاجة، تستطيع (a) تغيير تلك التشكيلة بسرعة وتلقائياً استجابة للطقس، (b) والاستجابة الدائمة إلى البيانات الجديدة، (c) والاستجابة إلى متطلبات المستخدمين بناء على قراراتهم، (d) وابتداء عمليات أخرى آلياً، (e) وتوجيه محطات الرصد البعيدة لاستمثال جمع البيانات للمسألة التي في قيد المعالجة (LEAD, 2008).

وتتضمن مخرجات الاستشراق الشاملة شبكات إحدائيات مكانية مئزها يساوي 20 كيلو متراً. وتمكّن هذه الشبكات من حساب مساحات مخاطر المرض بكاملها لكل منطقة. وتُعطي مخرجات الاستشراق المتوسطة النطاق بشبكات مئزها يساوي 5 كيلو متراً، وهي مخصصة لمناطق معينة ذات مئز مكاني أعلى. ويعطي كل من الاستشراق الشاملة والمتوسطة النطاق قياً كل ساعة لمجموعة من متغيرات الرصد الجوي لتكون مداخلات إلى نماذج مخاطر أمراض النباتات. والقيم التي كانت حرجة في الاستشراق الشاملة الخاصة بالأمراض، ومنها الرطوبة النسبية وحالة

الغيوم واحتمالات المتساقطات سوف تُستخرج من المخرجات المتوسطة النطاق من خلال حوار تسلسل العمل. وسوف تُضمَّن نماذج شبكات عصبونية صناعية مشابهة لتلك المستعملة في خدمة الطقس الوطنية مع المخرجات وتُربط عبر منظومة معلومات جغرافية.

لقد أصبح هذا النوع من الاستشراف في الآونة الأخيرة خياراً متاحاً لأولئك الذين لا يقتنون شبكات حواسيب سريعة خاصة بهم. أما في السابق، فلم يُستعمل مرفق نمذجة الطقس هذا للاستشراف الزراعي قط، ولم يكن ولوجه متاحاً للطلاب غير النظاميين أبداً.

خلاصة

إن الهدف النهائي لأي منظومة إنذار مبكر هو تقليص عدم التيقن في اتخاذ القرار، وذلك بجعله دقيقاً وفي وقته. ويُعزَّز توفير معلومات مخاطر الأمراض من خلال الويب، قيام بيئة عادلة تحقِّق وصولاً متكافئاً إلى اتخاذ قرار مكافحة الحشرات في المجتمعات الزراعية. ويمكن لتقليص عدم التيقن أن يزيد من استعمال المزارعين لاستراتيجيات استباقية لمكافحة الحشرات، وأن يقلل من استعمالهم لاستراتيجيات ردود الأفعال. ونظراً إلى أنه توجد لكثير من الأمراض نباتات مضيئة متعددة، ومتطلبات متماثلة من حيث درجات الحرارة والرطوبة النسبية، فإن طرائق مكافحتها ونتائجها سوف تكون متشابهة أيضاً في طيف واسع من منظومات المحاصيل.

إن الاستشرافات المناطقية والطرائق المتبَّعة للحد من مخاطر الأمراض بواسطة تلك النماذج مهمة على مستوى العالم بوصفها وسائل لزيادة الأمن الغذائي واستدامة الزراعة. وبرغم أن هذا الفصل ركَّز الاهتمام في تطوير منظومات الاستشراف ودعم القرار الزراعي في العالم المتقدِّم، فإن تعزيز تطوير هذه التكنولوجيات ينطوي على مضامين للزراعة في البلدان النامية أيضاً. ويُقدَّر أن 10% من الخسائر الزراعية عالمياً تحصل بسبب الأمراض (Strange and Scott, 2005). لذا يجب تطوير تكنولوجيات جديدة قادرة على تقليص تلك الخسائر، ونشرها في مناطق انعدام الأمن الغذائي.

وفي قمة أخيرة لمجموعة الثماني G8، تعهَّد المجتمعون بـ «تسريع البحث والتطوير وزيادة الولوج إلى تكنولوجيات زراعية جديدة بغية زيادة الإنتاج الزراعي»، خاصة في ما يتعلق بمنظومات الإنذار المبكر للأمن الغذائي (Hokkaido)

(Toyako Summit, 2008). وفي تقرير منظمة الفاو التابعة للأمم المتحدة، الصادر في عام 2008، عن انعدام الأمن الغذائي في العالم، اعتبرت المنظمة أن الوصول إلى تكنولوجيات جديدة هو العائق الرئيسي الذي يقف في وجه التطور الزراعي على مستوى العالم. وأشار التقرير بوجه خاص إلى أن «التكنولوجيات المكيفة لظروف محدّدة مهمة لصغار المنتجين الذين لا يمتلكون سوى موارد محدودة».

إن توافر الاستشرافات الشاملة المحسّنة والنماذج المتوسطة النطاق المدقّقة مكانياً، إضافة إلى الزيادات المتوقّعة في تعيُّرات مواسم الزراعة بسبب تغيُّر المناخ، تجعل هذه الحقبة عالية الأهمية في تطوير نهج جديدة لتخفيف وطأة الأمراض في منظومات المحاصيل ذات القيمة الاقتصادية.

كلمة شكر

يشكر المؤلفون برنامج تجنب المخاطر وتخفيف وطأتها الخاص بقانون حماية جودة الغذاء التابع لوزارة الزراعة الأمريكية على المنحة المالية رقم 02925-2008، وعلى المنحة المقدمة في عام 2007 من برنامج إدارة مكافحة الحشرات المتكاملة التابع لوزارة الزراعة. وقد كانت جهود العاملين في مشروع البيئة المترابطة للبحوث الجوية أساسية في تأمين الوصول إلى نماذج استشراف عبر بوابة المشروع LEAD. ونتوجه بالشكر الجزيل إلى الباحث الرئيسي في المشروع كيلفن دروغيمر (Kelvin Droegemeir)، وإلى فريق عمله لدى جامعة إنديانا بٲ بلابل وسوريش مارو وفلكس تركورن (Beth Plale, Suresh Marru, Felix Terkhorn) لدعمهم هذا العمل. ونشكر أيضاً الباحثين المساعدين في جامعة ميشيغان جيرمي بل (Jeremy Bell) وكسندرا هوش (Cassandra Hoch) وجايسون سميث (Jason Smith) وماغلدينا وسنيوسكا (Magdalena Wisniewska).

مراجع

Disease Model Database [E-text type]. University of California. Retrieved November 2001, from <http://www.ipm.ucdavis.edu/DISEASE/DATABASE/diseasemodel database.html>.

Assured Combinable Crops Web site [E-text type]. Retrieved December 19, 2008, from <http://www.assuredcrops.co.uk/accs/>

Assured Produce: the growing partnership Web site [E-text type]. Retrieved December 19, 2008, from <http://www.assuredproduce.co.uk/ap/>

Bailey, J. E. (1994). Evolution of a weather-based peanut leaf spot spray advisory in North Carolina. *Plant Disease*, 78, 530-535.

Bailey, J. E. (1999). Integrated method of organizing, computing, and deploying weatherbased disease advisories for selected peanut diseases. *Peanut Science*, 26, 74-80.

Baker, K M., Kirk, W. W., Andresen, J. A. & Stein, J.M. (2004). A problem case study: Influence of climatic trends on late blight epidemiology in potatoes. *Acta Horticulture*, 638,37-42.

Baker, K M., Kirk, W. W., & Andresen, J. A (2005). Climatic trends and potato late blight risk in the Upper Great Lakes region. *Horticultural Technology*, 15(3), 510-518.

Baker, K. M., & Kirk, W. W. (2007). Comparative analysis of models for integration of extended range synoptic forecast data into potato late blight risk systems. *Computers and Electronics in Agriculture*, 57, 23-32.

Baker, K. M., Wharton, P., & Kirk, W. W. (2007, December). Inclusion of synoptic weather forecast models in decision support systems for agriculture. *Proceedings of MODSIM '07: International Congress on Modeling and Simulation, Christchurch, New Zealand*.

Baldwin, J. A, Todd, J. W., Weeks, J. R., Gorbet, D. W., Culbreath, A. K, Luke-Morgan, A. S., Fletcher, S. M., & Brown, S. L. (2001, July). A Regional Study to Evaluate Tillage, Row Patterns, In-Furrow Insecticide, and Planting Date on the Yield, Grade, and Tomato Spotted Wilt Virus Incidence of the Georgia Green Peanut Cultivar. *Proceedings of the 24th Annual Southern Conservation Tillage Conference For Sustainable Agriculture, Oklahoma City, Oklahoma* (pp. 26-34).

Beaumont, A. (1947). The dependence on the weather of the dates of outbreak of potato late blight. *Transactions of the British Mycological Society*, 31,45-53.

Bootsma, A (1979). Potato late blight forecasting in Prince Edward Island in 1978, *Can. Plant Dis. Survey*, 59, 63-66.

Brown, S. L., Culbreath, A. K., Todd, J. W., Gorbet, D. W., Baldwin, J. A., & Beasley, J. P. (2005). Development of a method of risk assessment to facilitate integrated management of spotted wilt of peanut. *Plant Disease*, 89, 348-356.

Carroll, K. L., & Maloney, J. C. (2004, June). Improvements in extended-range temperature and probability of precipitation guidance. *Symposium on the 50th Anniversary of Operational Numerical Weather Prediction*, College Park, Maryland, American Meteorological Society.

Chakraborty, S., Ghosh, R., Ghosh, M., Fernandes, C. D., Charchar, M. J., & Kelemu, S. (2004). Weather-based prediction of anthracnose severity using artificial neural network models. *Plant Pathology*, 53, 375-386.

Challinor, A. J., Slingo, J. M., Wheeler, T. R., Craufurd, P. Q., & Grimes, D. I. F. (2003). Toward a combined seasonal weather and crop productivity forecasting system: Determination of a working spatial scale. *Journal of Applied Meteorology*, 42, 175-192.

Cheng, C. S., Auld, H., Li, G., Klaassen, J., Tugwood, B. & Li, Q. (2004). An automated synoptic typing procedure to predict freezing rain: An application to Ottawa, Ontario, Canada. *Weather and Forecasting*, 19, 751-768.

Cook, H. (1949). Forecasting late blight epiphytotics of potatoes and tomatoes. *Journal of Agricultural Research*, 78, 54-56.

Cortinas, J. V. & Stensrud, D. J. (1995). The importance of understanding mesoscale model parameterization schemes for weather forecasting. *Weather and Forecasting*, 10, 716-740.

Culbreath, A. K., Todd, J. W. & Brown, S. L. (2003). Epidemiology and management of tomato spotted wilt in peanut. *Annual Review Phytopathology*, 41, 54-75.

Culbreath, A. K., Kemerait, R. C. Jr., & Brenneman, T. B. (2006). Management of early leaf spot of peanut as affected by fungicide and date of spray program initiation. *Plant Health Progress* doi: 10.1094/PHP-2006-0214-01-RS.

Dandurand, L. M., Knudsen, G. R. & Eberlein, C. V. (2006). Susceptibility of five nightshade species to *Phytophthora infestans*. *American Journal of Potato Research*, 83, 205-210.

Davis, D. P., Jacobi, J. C. & Backman, P. A. (1993). Twenty-four hour rainfall, a simple environmental variable for predicting peanut leaf spot epidemics. *Plant Disease*, 77, 722-725.

De Wolf, E. D., & Franci, L. J. (2000). Neural network classification of tan spot and stagonospora blotch infection period in a wheat field environment. *Phytopathology*, 90(2), 108-113.

De Wolf, E. D. & Isard, S. A. (2007). Disease Cycle approach to Plant Disease Prediction. *Annual Review of Phytopathology*, 45, 203-20.

Environmental Protection Agency (1998). EPA 236-F-98-007x: Climate Change and South Dakota. *Office of Policy*, (2111).

Ephrath, J. E., Goudriaan, J. & Marani, A. (1996). Modeling diurnal patterns of air temperature, radiation, wind speed and relative humidity by equations from daily characteristics. *Agricultural Systems*, 51 (4), 377-393.

Fry, W. E. (1977). Integrated control of potato late blight-effects of polygenic resistance and techniques of timing fungicide applications. *Phytopathology*, 67, 415-420.

Getz, R. R. (1981). The determination of wetting duration in plant canopies. *15th Conference on Agriculture and Forest Meteorology and Fifth Conference on Biometeorology, Boston, Massachusetts*, (pp. 155-157).

Grichar, W. J., Jaks, A. J. & Besler, B. A. (2005). Response of peanuts (*Arachis hypogaea*) to weather-based fungicide advisory sprays. *Crop Protection*, 24, 349-354.

Goodwin, S. B., Sujkowski, L. S., & Fry, W. E. (1995). Rapid evolution of pathogenicity with in clonal lineages of the potato late blight disease fungus. *Phytopathology*, 85, 669-676.

Google Analytics Web site [E-text type] Retrieved December 19, 2008, from <http://www.google.com/analytics/>

Guenther, J. F., Michael, K. C. & Nolte, P. (2001). The economic impact of potato late blight on US growers. *Polato Research*, 44, 121-125.

G8 Hokkaido Toyako Summit (2008). G8 Leaders Statement on Global Food Security [E-text type]. Retrieved on December 12, 2008, from http://www.g8summit.go.jp/eng/doc/doc080709_04_en.html

Harrison, J. (1992). Effects of the aerial environment on late blight of potato foliage - a review. *Plant Pathology*, 41, 384-416.

Harrison, K. A. (2005). Irrigation Survey for Georgia. In K. J. Hatcher (ed.) Proceedings of the 2005 Georgia Water Resources Conference. University of Georgia Institute of Ecology, Athens, Ga.

Hijmans, J. A., Forbes, G. A. & Walker, T. S., (2000). Estimating the global severity of potato late blight with GIS-linked disease forecast models. *Plant Pathology*, 49, 697-705.

Hoogenboom, G. (2000). The Georgia automated environmental monitoring network. *Preprints of the Proceedings of the 24th Conference on Agricultural and Forest Meteorology* (pp. 24-25). American Meteorological Society.

Inglis, D. A., Johnson, D. A., Legard, D. E., Fry, W. E. & Hamm, P. B. (1996). Relative resistances of potato clones in response to new and old populations of *Phytophthora infestans*. *Plant Disease*, 80, 575-578.

IPCC (2007). Summary for Policymakers. In M. L. Parry, O. F. Canziani, J. P. Palutikof, P. J. van der Linden, & C. E. Hanson (Eds.), *Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* (pp. 7-22). Cambridge, UK: Cambridge University Press.

Isard, S. A., & Schaetzl, R. J. (1998). Effects of winter weather conditions on soil freezing in Southern Michigan. *Physical Geography*, 19, 71-94.

Jacobi, J. C., Backman, P. A., Davis, D. P., & Brannen, P. M. (1995a). AU-Pnuts advisory I: Development of a rule-based system for scheduling peanut leaf spot fungicide applications. *Plant Disease*, 79(7), 666-671.

Jacobi, J. C., & Backman, P. A. (1995b). AU-Pnuts advisory II: Modification of the rulebased leaf spot advisory stem for a partially resistant peanut cultivar. *Plant Disease*, 79(7), 672-676.

Jain, A, McClendon, R. W., & Hoogenboom, G. (2006). Freeze prediction for specific locations using artificial neural networks. *Transactions of the ASABE*, 49(6), 1955-1962.

Jordan, D. L., Brandenburg, R. L., Bailey, J. E., Johnson, P. D., Royals, B. M. & Curtis, V. L. (1999). Cost effectiveness of pest management strategies in peanut (*Arachis hypogaea* L.) grown in North Carolina. *Peanut Science*, 26, 85-94.

Kato, M., Mizubuti, E. S., Goodwin, S. B. & Fry, W. E. (1997). Sensitivity to protectant fungicides and pathogenic fitness of clonal lineages of *Phytophthora infestans* in the United States. *Phytopathology*, 87, 973-978.

Kemerait, R. C. (2006). Peanut yield loss estimates [E-text type]. In Martinez, A. (2006) 2005 Georgia plant disease loss estimates. Retrieved December 11, 2008, from <http://pubs.caes.uga.edu/caespubs/pubcd/SB41-08.htm>

Kirk, W. W. (2003a). Thennal properties of over wintered discarded piles of cull potatoes. *American Journal of Potato Research*, 80, 145-149.

Kirk, W. W. (2003b). Tolerance of mycelium of different genotypes of *Phytophthora infestans* to freezing temperatures for extended periods. *Phytopathology*, 93, 1400-1406.

Kirk, W. W., Abu-El Samen, F. M., Muhinyuza, J. B., Hammerschmidt, R., Douches, D. S., Thill, C. A, Groza, H., & Thompson, A. L. (2005).

Evaluation of Potato Late blight Management Utilizing Host Plant Resistance and Reduced Rates and Frequencies of Fungicide Applications. *Crop Protection*, 24, 961-970.

Kirk, W. W., Niemira, B. A., & Stein, J. M. (2001). Influence of storage temperature on rate of potato tuber tissue infection caused by different biotypes of *Phytophthora infestans* (Mont.) de Bary estimated by digital image analysis. *Potato Research*, 44, 86-96.

Krause, R. A., Massie, L. B. & Hyre, R. A. (1975). Blitecast: a computerized forecast of potato late blight. *Plant Dis. Repr.*, 59, 95-98.

Large, E. C. (1956). Potato blight forecasting and survey work in England and Wales, 1953-55. *Plant Pathology*, 5, 39-52

[LEAD] Linked Environments for Atmospheric Discovery. (2008). Lead portal [E-text type]. Retrieved October 12, 2008, from <http://portal.leadproject.org/>.

Linville, D. E. & Drye, C. E. (1995). Assessment of Peanut Leaf-Spot Disease-Control Guidelines Using Climatological Data. *Plant Disease*, 79, 876-879.

MacKenzie, D. R. (1981). Scheduling fungicide applications for potato late blight with Blitecast. *Plant Disease*, 65, 394-399.

Magarey, R. D., Travis, J. W., Russo, J. M., Seem, R. C. & Magarey, P. A (2002). Decision support systems: Quenching the thirst. *Plant Disease*, 86, 4-14.

Mayton, H., Forbes, G. A, Miznbuti, E. S. G. & Fry, W. E. (2001). The roles of three fungicides in the epidemiology of potato late blight. *Plant Disease*, 85, 1006-1012.

McKeown, S. P, Todd, J. W., Culbreath, A. K., Gorbet, D. W. & Weeks, J. R. (2001). Planting date effects on tomato spotted wilt in resistant and susceptible peanut cultivars. *Phytopathology*, 91, S60.

McMullen, M., Jones, R. & Gallenberg, D. (1997). Scab of wheat and barley: A re-emerging disease of devastating impact. *Plant Disease*, 81, 1340-1348.

Miznbuti, E. S. G. & Fry, W. E. (1998). Temperature effects

on developmental stages of isolates from three clonal lineages of *Phytophthora infestans*. *Phytopathology*, 88, 837-843.

NSF Center for Integrated Pest Management (2008). North Carolina Integrated Pest Management Information [E-text type]. Retrieved December 19, 2008, from <http://ipm.ncsu.edu/index.cfm>

Olatinwo, R. O., Paz, J. O., Brown, S. L., Kemerait, R. C., Culbreath, A. K., Beasley, J. P. Jr. & Hoogenboom, G. (2008). A predictive model for spotted wilt epidemics in peanut based on local weather conditions and the tomato spotted wilt virus risk index. *Phytopathology*, 98(10), 1066-1074.

Osborne, L. E. & Stein, J. M. (2007). Epidemiology of Fusarium Head Blight on Small Grain Cereals. *International Journal of Food Microbiology*, 119,103-108.

Ramankutty, N., Foley, J. A, Norman, J. & McSweeney, K. (2002). The global distribution of cultivable lands: current patterns and sensitivity to possible climate change. *Global Ecology & Biogeography*, 11, 377-392.

Raposo, R, Wilks, D. S., & Fry, W. E. (1993). Evaluation of potato late blight forecasts modified to include weather forecasts: A simulation analysis. *Phytopathology*, 83, 103-108.

Rosenzweig, C., Iglesias, A, Yang, X. B., Epstein, P. R. & Chivian, E. (2000). *Climate change and U.S. agriculture: The impacts of warming and extreme weather events on productivity, plant diseases, and pests*. Boston, MA: Center for Health and the Global Environment.

Royer, M. H., Russo, J. M. & Kelley, J. G. W. (1989). Plant disease prediction using a mesoscale weather forecasting technique. *Plant Disease*, 73(8), 618-624.

Schwartz, B. E., Rodgers, D. M. & Hawes, J. T. (1987). The use and interpretation of numerical weather prediction model output in identifying synoptic-scale environments associated with development of mesoscale convective systems. *Weather and Forecasting*, 2, 50-69.

Seem, R. C. (2004). Forecasting plant disease in a changing climate: a question of scale. *Canadian Journal of Plant Pathology*, 26, 274-283.

Seem, R. C., Magarey, R. D., Zack, J. W. & Russo, J. M. (2000). Estimating disease risk at the whole plant level with General Circulation Models. *Environmental Pollution*, 108, 389-395.

Shank, D. B., Hoogenboom, G. & McClendon, R. W. (2008a). Dew point temperature prediction using artificial neural networks. *Journal of Applied Meteorology and Climatology*, 47(6), 1757- 1769.

Shank, D. B., McClendon, R. W., Paz, J. O. & Hoogenboom, G. (2008b). Ensemble artificial neural networks for prediction of dew point temperature. *Applied Artificial Intelligence*, 22(6), 523-542.

Shaw, D., Nagy, Z. A., Evans, D. & Deahl, K. (2007, May). The 2005 population of *Phytophthora infestans* in Great Britain: the frequency of A2 mating type has increased and new molecular genotypes have been detected. *Proceedings of the Tenth Workshop of an European network for development of an integrated control strategy of potato late blight, Bologna, Italy* (pp. 137-144).

Shew, B. B., Beute, M. K. & Wynne, J. C. (1988). Effects of temperature and relative humidity on expression of resistance to *Cercosporidium personatum* in peanut. *Phytopathology*, 78, 493-498.

Smith, B. A., McClendon, R. W. & Hoogenboom, G. (2006). Improving air temperature prediction with artificial neural networks. *International Journal of Computational Intelligence*, 3(3), 179-186.

Stein, J. M. & Kirk, W. W. (2002). Containment of existing potato late blight (*Phytophthora infestans*) foliar epidemics with fungicides. *Crop Protection*, 21(7), 575-582.

Stevenson, W. R., Kirk, W. W. & Atallah, Z. K. (2007a) Management of foliar disease, early blight, late blight and white mold. In D. S. Johnson (Ed.), *Potato Health Management* (pp. 209-222). St. Paul, MN: APS Press.

Stevenson, W. R., James, R. V., Inglis, D. A., Johnson, D. A., Schotzko, R. T. & Thornton, R. E. (2007b). Fungicide spray programs for Defender, a new potato cultivar with resistance to late blight and early blight. *Plant Disease*, 91, 1327-1336.

Strange, R. N. & Scott, P. R. (2005) Plant disease: a threat to global food security. *Annual Review of Phytopathology*, 43, 83-116.

Tesco Natures Choice Web site [E-text type]. Retrieved December 19, 2008, from <http://www.tescofarming.comitrct.asp>

The State of Food Insecurity in the World 2008: High food prices and food security - threats and opportumhes [E-text type]. Retrieved December 19, 2008, from <http://www.fao.org/docrep/011/i0291e/i0291e00.htm>

United States. Department of Agriculture. (2006). *The Value of Plant Disease Early-Warning Systems: A case study of USDA's soybean rust coordinated network*. Economic Research Report Number 18.

United States. Department of Agriculture, Office of Pest Management Policy (2004). National Road Map for Integrated Pest Management [E-text type]. Retrieved December 11, 2008, from <http://www.ipmcenters.org/IPMRoadMap.pdf>

United States. Department of Agriculture, Office of Pest Management Policy (2008). Pest Management Strategic Plans [E-text type]. Retrieved November 10, 2008, from <http://www.ipmcenters.org/pmsp/>

United States. Department of Agricultnre, National Agricultural Statistics Service (2008). Crop production data [E-text type]. Retrieved November 12, 2008, from <http://www.nass.usda.gov/census/>

Wallin, J. R. & Schuster, M. L. (1960). Forecasting potato late blight in wesfern Nebraska. *Plant Disease Reporter*, 44, 896-900.

Wharton, P. S., Kirk, W. W., Baker, K. M. & Duynslager, L. (2008). A web-based interactive system for risk management of *Phytophthora infestans* in potato canopies in Michigan. *Computers and Electronics in Agriculture*, 61, 136-148.

Wilks, D. S. & Shen, KW. (1991). Threshold relative humidity duration forecasts for plant disease prediction. *Journal of Applied Meteorology*, 30, 463-477.

Windels, C. (2000). Economic and Social Impacts of Fusarium Head Blight: Changing Farms and Rural Communities in the Northern Great Plains. *Phytopathology*, 90, 17-21.

Wu, L., Damicone, J. P. & Jackson, K. E. (1996). Comparison of weather-based advisory programs for managing early leaf spot on runner and Spanish peanut cultivars. *Plant Disease*, 80, 640-645.

Wu, L., Damicone, J. P., Duthie, J. A. & Melouk, H.A. (1999). Effects of temperature and wetness duration on infection of peanut cultivars by *Cercospora arachidicola*. *Phytopathology*, 89, 653-659.

Young, G. K., Cooke, L. R., Kirk, W. W., Tumbalam, P., Perez, F. M. & Deahl, K.L. (2009). The influence of competition and host plant resistance on selection of *Phytophthora infestans* populations in the state of Michigan and in Northern Ireland. *Plant Pathology* (in press).

Zwankhuizen, M. J., Govers, F. & Zadoks, J. C. (1998). Development of potato late blight epidemics: Disease foci, disease gradients, and infection sources. *Phytopathology*, 88, 754-763.

الفصل التاسع

القياسات البصرية في الزراعة

Roberto Braga¹, Graham Horgan² and Chris Glasbey²

¹UFLA, Brazil

²BIOSS, Scotland

ملخص

ليست أعيننا أفضل أدوات القياس التي نمتلكها لدراسة الطبيعة والتفاعل معها. لكنّ بواسطتها يستطيع دماغنا فهم كثير من الظواهر، إضافة إلى استقبال معلومات عن انخراطنا في كثير من العمليات. وخلال تاريخ التطور العلمي، اخترعت وُيُنيت أجهزة لتحسين مقدرتنا على رؤية أقرب أو أبعد، وبتفاصيل أكثر، بغية فهم كوننا فهماً أفضل، ومن ثمّ تطوير نظريات عن العالم من حولنا. وقد ساعدتنا تجهيزات، مثل المجهر والمقرب (الميكروسكوب والتلسكوب)، على تحسين مقدرتنا على رؤية أشياء أعمق وأبعد، ومعرفة ممّ صُنِعنا. ويُعدُّ ليونيهوك وغاليليو غاليلي مثالان لعلماء روّاد في استعمال المجهر والمقرب، فقد ابتدأ عملية مستمرة، وما زالت جارية، من التحدّي والارتحال إلى عوالم جديدة، عوالم لم تستطع أعيننا المجرّدة قط أن تصل إليها. ومع حلول نهاية القرن العشرين، كانت الإلكترونيات والحواسيب مسؤولة عن كثير من الثورات في أنماط حياتنا، ومكّنت إحدى تلك الثورات من الاستعاضة عن أعيننا بآلات تستطيع القيام ببعض أعمالنا في الرصد والتفسير بطريقة أكثر عقلانية وموضوعية.

وتوفر صور الكمرات الرقمية لنا طرائق للنظر إلى الأشياء لم نكن لنستطيع تحيّلها من قبل، وقد أتاحت لنا مقادير هائلة من البيانات لتحليلها بواسطة حواسيب متزايدة القوة. وأصبح وصف كل التطورات والتطبيقات الجديدة للتصوير في مجالات العلم المختلفة، والتعامل معها، أمرين مستحيلين تقريباً. لذا ننوي هنا استقصاء التصوير في مجال الزراعة فقط، وذلك من وجهة نظر تحليل الصورة، بانتقاء بعض التطبيقات الهامة وطرائق الفحص السهلة، وبعض تقنيات تحليل الصورة الشائعة.

وسوف نقدّم في هذا الفصل استعمال صور البقع الليزرية للحصول على معلومات تتعلق بالنشاط الحيوي في مواد مثل البذور والفطريات والفواكه والأغشية الرقيقة الحية. ونقدّم أيضاً التطوّرات الأخيرة في استعمال تقنية قديمة، تُعرف بأنماط مُواريه (Moiré Patterns)، كانت قد انتعشت من جديد مع التقدّم في التصوير الرقمي. وأخيراً نقدّم ملخصاً للتطبيقات الكثيرة لتحليل الصورة المتكرر في الزراعة، ولطرائق التقاطها ومعالجتها.

1- تقديم

تستند القياسات البصرية إلى مبدئين على صلة بالتمييز المدرسي بين معالجة الصورة وتحليلها (Gonzalez and Woods, 2008). تُوصف معالجة الصورة بأنها مقدرة مجموعة من الأدوات على توفير أفضل صورة للاستقصاء والتحليل من قبل مختصين، أو حتى فهمها من قبل الناس العاديين. ويُعرّف تحليل الصورة بالمقدرة على وضع إجراءات مستقلة لتحل محل شخصانية البشر في تفسير السمات الرئيسية للصورة. وفي هذه الحالة، يولّد تحليل الصورة عادة رسوماً بيانية وملخصات رقمية أو صوراً جديدة بدلاً من تحسين البيانات الأصلية.

وتمثّل المادة الحيوية في الزراعة تحديّات من نوع خاص بسبب تغير العينات الحيوية، ومنها التعقيد الهائل الذي يوجد غالباً في هذا النوع من المادة، مع رغبة في أغلب الأحيان في الحصول على معلومات عنها دون إتلافها أو تدخل في العينات التي يجري فحصها.

وفي هذا الفصل، نعرض بعض التقنيات البصرية التي تنطوي على مزايا عديدة من هذه الناحية، منها تحليل أنماط مُواريه، وهو تقنية قديمة، مع تطبيقات جديدة

لتحليل الصورة، وتكنولوجيا مبتكرة أخرى تُعرَف بالبقع الحيوية أو البقع الليزرية المتغيّرة باستعمال الإضاءة الليزرية. ونقدّم بعض التطبيقات الزراعية التي تستعمل هاتين التقنيتين بغية توضيح الفكرة وتوفير مرجعية لمزيد من الدراسة.

ونتعامل في هذا الفصل أيضاً مع تحليل الصور وإجراءات معالجتها الشائعة التي تُستعمل للحصول على معلومات لكثير من التطبيقات الزراعية. ونقدّم إجراءات مثل تحسين الصورة وتجزئتها وترميزها وقياسها... إلخ، مع تطبيقاتها الزراعية.

2- بقع الليزر المتغيّرة

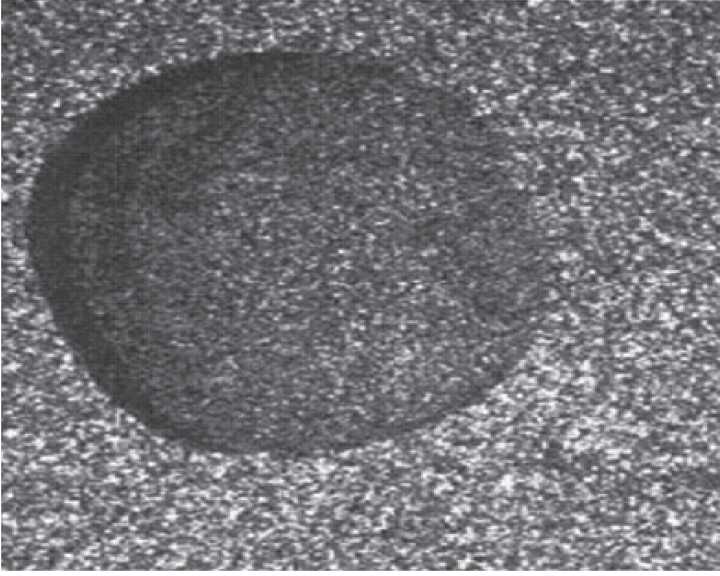
تقنية بقع الليزر (Laser Speckle) المتغيّرة هي تقنية الحصول على معلومات عن الفاعلية البنوية داخل العينات الحية وغير الحية باستعمال الإضاءة الليزرية وتحليل للصورة. وتُستعمل فيها صور لظاهرة التداخل الضوئي التي تحصل حين إضاءة الشيء بضوء مترابط مثل الليزر، مع دلالة على وقت التقاطها.

1.1.2 خصائص الليزر

يتصف الليزر بخصائص معروفة تماماً، منها وحدانية اللون والشدة الكبيرة ضمن اتجاه محدد. إلا أن ثمة سمة معينة له هي الترابط (Coherence)، الذي ينطوي على دور مميّز في القياسات التي تقوم على الأنماط البقعية. ومن حيث الجوهر، يُعرَف الترابط هنا بإمكان محافظة الموجة على طورها في المكان والزمن، متيحة تشكيل أنماط تداخل حين وصول الضوء إلى سطح خشن. وتُعرف تلك الأنماط ببقع التداخل.

2.1.2 أنماط البقع

تحصل ظاهرة البقع بسبب التداخل الناجم عن جبهات موجات الضوء التي تصل إلى الراصد أو إلى سطح إسقاط، ثم انعكاسها وإعادة بثها من ذلك السطح. والنتيجة هي انزياح عشوائي للحبيبات، يتجلى في الشكل والسطوع العشوائيين الميئين في الشكل 1. وتعطي البذرة المضاءة بالليزر نفس أنماط البقع المرئية على سطح الطاولة تلك. وبتكرار نفس الأرصاد مع مرور الزمن، تظهر تعيّنات في أنماط شكل البذرة بسبب تغير تبعثر ضوء الليزر ضمن النسيج الحيوي الناجم عن مجموعة من الأنشطة الحيوية ضمن البذرة الحية.



الشكل 1: أنماط البقع لبذرة موضوعة على طاولة.

2.2 بقعة الليزر المتغيرة

تؤدي التبدلات في بنية المادة المضاءة، الناجمة عن الاستقلاب وغيره من العمليات ضمنها، إلى تغيير مواضع تبعثر ضوء الليزر، فتتغير مسارات جبهات موجاته، وتسبب تفاوتات في أنماط تداخلها التي يمكن تفسيرها أيضاً بواسطة مفعول دوبلر النبضي (Beating Doppler Effect). ويظهر هذا المفعول على شكل عملية «غليان» من الممكن مراقبته وتحديد مستوى تفاوتاته. ويمكننا التقاط سلسلة من الأطر الساكنة، المشابهة للصورة المبيّنة في الشكل 1، من تسجيل تفاوتات البقع ضمن البذرة، واستنتاج شيء عن مداها.

3.2 قياس النشاط

يمكن قرن خواص بقع الليزر المتغيرة بالنشاط الموجود ضمن المادة المضاءة، إلا أن المهمة المعقدة لعزل جميع التأثيرات المختلفة التي تسهم في تكوين البقعة في كل لحظة تبقى قائمة. ينشأ ذلك النشاط من الاستقلاب الحيوي في الأنسجة، ومن تدفق الدم، ومن الحركة في عينة من الحيوانات المنوية، أو حتى من تغيرات غير

حيوية، مثل مستويات الرطوبة وجفاف الحبر والطلاء وغيرها من كثير من الظواهر الأخرى. وتُتيح حساسية هذه الظاهرة استقصاء العمليات التي لا تُرصد على نحو موثوق باستعمال التجهيزات العادية، وتمكّن من تسجيلها رقمياً، وبذلك تدرأ عدم الموضوعية المتأصل في التقييم البشري الشخصي.

كيفية صنع صور البقع الليزرية المتغيرة

يمكن تصنيف التشكيلات التجريبية اللازمة للحصول على صور من عينات مضاءة ليزرياً في نوعين أساسيين من البعثة: البعثة الأمامية والبعثة الخلفية.

وكلا النوعين يستندان إلى طريقة وصول الضوء إلى النسيج وعودته منه حاملاً المعلومات. في البعثة الأمامية، يمر الضوء عبر العينة المرصودة ثم يتجمّع في الطرف الآخر من المادة. وفي تلك الحالة، يجب أن يكون الجسم شفافاً بقدر كافٍ للسماح للضوء بعبوره، وهذا يشابه التكبير المجهرى البصري، مع وجود ناشر ضوئي (Diffuser) بين الكاميرا والجسم الذي يجري تصويره.

أما في البعثة الخلفية فيوضع الضوء والجسم والكاميرا في نفس الجانب، وتلتقط الكاميرا الضوء المبعثر الصادر عن المادة المضاءة.

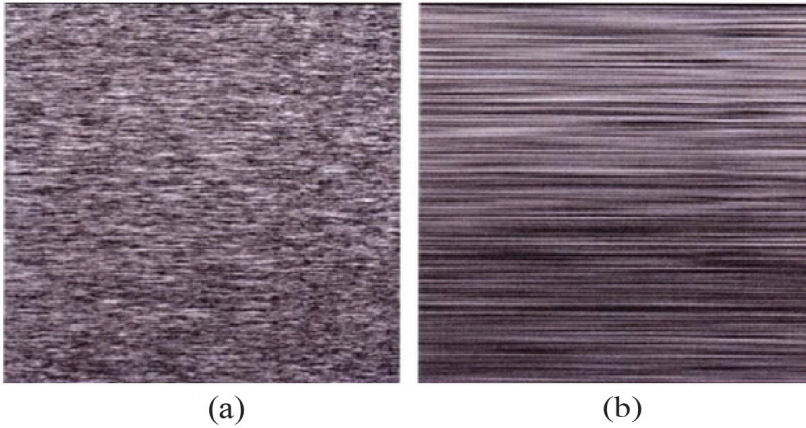
وثمة كثير من التعديلات المختلفة لهاتين التشكيلتين من دون تغيير التصنيف المدرسي المذكور آنفاً. لذا يتطلب كل تطبيق تشكيلة تجريبية خاصة به من التجهيزات من أجل تحسين إمكانية دراسة الظاهرة، والإسهام العلمي في الخواص المرصودة من خلال الأنماط البقعية.

4.2 تحليل بقع الليزر المتغيرة

ثمة مُهْج كثيرة لتقييم التغيرات الزمنية في أنماط البقع باستعمال سلسلة من الصور المتعاقبة. ولذا يُصنّف بعضها على أنه تحليل صورة يؤدي إلى نتائج رقمية، ويُصنّف بعضها الآخر على أنه معالجة صورة تُنتج صورة ثانوية للتقييم من قبل أشخاص.

ومن بين الإجراءات الرقمية، يمكن ذكر العزم العطالي (Inertial Moment) من مصفوفات الحدوث المشترك (Co-occurrence Matrices) التي استُعملت كثيراً بوصفها إجراءات إحصائية من المرتبة الثانية. ووفقاً لما أورده أريزاغا وآخرون

(Arizaga et al., 1999)، يعطي العزم العطالي قيمة عديمة الوحدات تمثل مستوى النشاط في المادة المضاءة. وتقوم الخطوة الأولى للحصول على هذه القيمة على تكوين صورة جديدة، تُشتق من مجموعة أطر متتالية، تُجمَع أثناء الإضاءة بالليزر، بميز يساوي 8 بتات، أي إنها ذات 256 مستوى رمادياً. وتُكوّن الصورة الثانوية تلك، أو المصفوفة، بأخذ عمود أو صف واحد من كل صورة من المجموعة، ووضع تلك الأعمدة أو الصفوف بجانب بعضها لتكوين مصفوفة تُعرف بالتاريخ الزمني لأنماط البقع (Temporal History Speckle Pattern) (THSP). وتُرينا خصائص صورة التاريخ الزمني لأنماط البقع متى تكون المادة عالية أو منخفضة الفعالية. ففي الشكل 2، من الممكن رؤية صورتين للتاريخ الزمني لأنماط البقع في مادتين، إحداها شديدة النشاط والثانية ضعيفة النشاط، حيث إذا كان للصفوف ظهور واضح دلّت الصورة على عينة منخفضة النشاط، وفقاً لما يتضح من الشكل 2b. لذا تمثل أسطر الصورة تاريخ الأحداث الزمني، وتمثل مجموعة الصفوف التكرارات المكانية.



الشكل 2: (a) صورة التاريخ الزمني لأنماط البقع لغشاء حيوي رقيق عالي النشاط، و (b) لآخر منخفض النشاط.

ومن أجل الحصول على عدد يمثل التغيرات المستمرة، تُعالج سلسلة صور التاريخ الزمني لأنماط البقع لبناء صورة جديدة لتوزع شدة الضوء، حيث تتألف الصورة الجديدة من 256 خطأً و256 عموداً. ويوضع في كل خلية من مصفوفة توزع الشدة تلك عدد مرات حدوث المستويات الرمادية المتعاقبة في صورة الأنماط التاريخية، موسوماً بالدليلين i و j .

لقد نجمت الصورتان الجديدتان المبيّتان في الشكل 3 عن توزُّع لشدات الأنشطة القوية والضعيفة. ومن الواضح أن المادة العالية النشاط تعطي توزُّعاً كثير البعثة حول القطر الرئيسي، في حين أن المادة ذات النشاط الضعيف تعطي توزُّعاً قليل البعثة حوله.



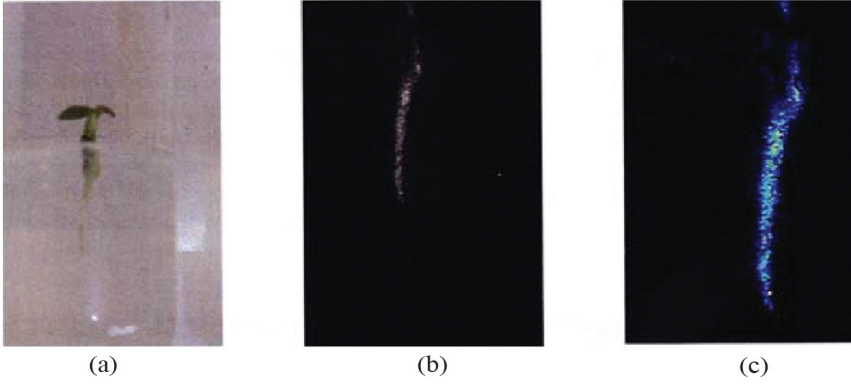
الشكل 3: مصفوفتا توزُّع الشدة لغشاء حيوي رقيق عالي النشاط (a) وآخر منخفض النشاط (b).

في هذه الخطوة الثانية يمكن الحصول على قيمة العزم العطالي IM من مصفوفة توزُّع الشدة، التي تسمى أيضاً مصفوفة الحدوث المشترك:

$$IM = \sum IDM(i, j) * (i - j)^2 \quad (1)$$

حيث IDM هي مصفوفة توزُّع الشدات، ويمثّل الدليلان i و j الموقع الذي يحتوي على عدد الحدوثات المشتركة للمستويات الرمادية المعاقبة في صورة التاريخ الزمني لأنماط البقع.

ومن أمثلة المعالجة البيانية لمجموعة من أنماط البقع في مادة مضاءة ليزرياً ما اقترحه فوجي وآخرون (Fujii et al., 1985). تُستعمل كامل الصور الآن لإجراء مقارنة تعطي صورة يمثّل فيها سطوع البكسلات مستوى النشاط. ويتمثّل النشاط الأقوى بمستويات رمادية أفتح، وتولّد الأنشطة الضعيفة مستويات رمادية غامقة في الصورة. ويمكن للبكسلات أن تكون أيضاً نصف ملونة بغية تحسين المظهر المرئي للنتيجة الذي يسمى بخريطة النشاط. ويُرى الشكل 4 نتيجة طريقة فوجي (Fujii) في صورتين، رمادية وملونة، لجذر نبتة بن في أنبوب تكاثر مخبري.



الشكل 4: صور فوجي لجذر نبتة بن: (a) صورة في أنبوب تكاثر مخبري، و (b) صورة رمادية، و (c) صورة ملونة.

وتمثل المعادلة 2 طريقة فوجي التي تمثل فيها شدة المستوى الرمادي في كل بسكل من الصورة بـ $I(i, j)$:

$$F_j(i, j) = \sum_{k=1}^N \frac{|I_k(i, j) - I_{k+1}(i, j)|}{I_k(i, j) + I_{k+1}(i, j)} \quad (2)$$

حيث k هو دليل الصورة في سلسلة الصور، و i و j يمثلان الإحداثيات ضمن مصفوفة الشدة I_k ، و F_j هي صورة فوجي الناتجة.

وثمة طريقة أخرى غير طريقة فوجي تُعرّف بطريقة الفرق المعمّر (Generalized Difference) (GD) (Arizaga et al., 2002)، وهي طريقة تتطلب مجهوداً حاسوبياً أكبر لأنها تحسب الفروق لكل إطار من المجموعة برمتها. ويُعرّف هذا الفرق بـ:

$$GD(i, j) = \sum_k \sum_l |I_k(i, j) - I_{k-l}(i, j)| \quad (3)$$

حيث $I_k(i, j)$ هي مصفوفة الشدات ذات الإحداثيات i و j لصورة k معينة تُطرح منها مجموعة الصور l التي تليها. والنتيجة هي مصفوفة جديدة $GD(i, j)$ لها نفس حجم الصور الأصلية.

وثمة طرائق كثيرة أخرى لتحليل البقع الليزرية المتغيرة بالوسائل الرقمية والبيانية، ويمكن أن تتضمن استعمال طرائق الطيف الترددي مثل تحويل الموجات (Wavelet Transform).

5.2 التطبيقات في الزراعة

قدّم ربال وبراجا (Rabal and Braga, 2008) عدة أمثلة مفصلة ذات صلة ببقع الليزر المتغيرة مع لائحة تطبيقات في العديد من المجالات خاصة الزراعة. لكن كثيراً من التطبيقات المذكورة محدود من حيث الاستعمالات المحتملة بسبب عدم اقتراح أو تطوير تجهيزات تجارية لها حتى الآن، مع أنه ليس ثمة من عوائق تقنية لبنائها في معظم الحالات.

وثمة نوعان رئيسيان من تطبيقات المواد الحيوية في الزراعة، أحدهما يتعلق بوضع مخططات النشاط، والثاني هو محاولة لتصنيف العينات في فئات تستند إلى أنماط نشاطها.

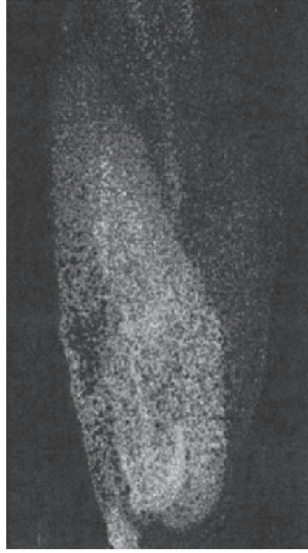
وكلما كان تعقيد المادة الحيوية أكبر، كانت صعوبات عزل مصدر التفاوتات في أنماط البقع الليزرية أشد، وفي بعض الحالات يصبح مستحيلاً تماماً، لأن أنماط التداخل هي نتيجة لجمع عدد كبير من جهات الموجات الواردة من النسيج المحلّل. وقد كانت عدة دراسات تعمل في الحيز الطيفي باحثة عن طريقة ما لعزل مصادر التفاوتات (Passoni et al., 2005).

ويمكن استعمال مخططات النشاط في تطبيقات مثل تحليل البذور وخدوش الفواكه ونمو الجذور. ففي حالة البذور مثلاً، من الممكن فصل الرُّشيم عن السُّويداء في البذرة أو حتى تمييز المناطق ذات النشاط الذي هو أعلى من المتوسط في السُّويداء، إلا أن فصل مناطق حية وميتة قريبة من بعضها في نفس البذرة ما زال يمثل تحدياً.

من الممكن أن نرى في الشكل 5 الرُّشيم والسُّويداء في حبة ذرة منفصلين بمستويي نشاطهما. وتُرى تقنية البقع المتغيرة، وخصوصاً طريقة الفرق المعّم، أن منطقة النشاط الشديد مرتبطة بالرُّشيم، وأن منطقة النشاط الضعيف مرتبطة بالسُّويداء.

وخدوش الفواكه هي تطبيق آخر لتقنيات مخططات النشاط التي تحدّد المناطق المجروحة التي لا تستطيع العين البشرية كشفها، وهذا ما يعلل أتمتة عملية التفتيش عن الخدوش. وقد قدّم بابلو وآخرون (Pajuelo et al., 2005) هذا التطبيق خصيصاً لمراقبة الجروح والخدوش بتقنية البقع الحيوية.

واستعمل ليزر البقع الحيوية أيضا لتقدير درجة نضج الفواكه بعد قطافها من أجل تحليل مدة بقائها قبل بيعها (Rabelo et al., 2005)، وأظهر ذلك وثوقية كشف انخفاض النشاط في البرتقال بعد قطافه.



الشكل 5: طريقة الفرق المعمم مطبقة على حبة ذرة، ويظهر الرُشيم في الصورة فاتحاً، وتظهر السويداء غامقة.

وفي الجذور، تمثل مراقبة عملية نمو النسيج صعوبة يمكن تجاوزها ببقع الليزر المتغيرة التي توافر معلومات للمختصين عن سلوك النمو في الظروف والأجناس والأصناف المختلفة. ويُرى الشكل 4 مثلاً لجذر نامٍ في عينة من نبات البن.

وقد وثق ربال وبراغا (Rabal and Braga, 2008) تقييماً للغشاء الحيوي الرقيق وبوظة الأيسكريم الذي أُجري بواسطة بقع الليزر المتغيرة، وبيننا أن من الممكن استعمال تلك التقنية من أجل تحليل تغيّرات الأطوار الحساسة الناجمة عن تعديل بُناها، وهذا ما يمكن من مراقبة نشاط المركبات المختلفة وسلوكها مع مرور الزمن. فتلك المعلومات يمكن أن تُساعد على تطوير مركبات جديدة ذات سلوك مرغوب فيه.

وتوجد للأغشية الحيوية الرقيقة، على سبيل المثال، تطبيقات في جني الفواكه وحمايتها وزيادة مدة تخزينها قبل بيعها، إضافة إلى حمايتها من الفطريات والحشرات. ويمكن لتطوير مركبات جديدة من الأغشية الحيوية الرقيقة أن يقوم على تقييم الأطوار أثناء الجفاف باستعمال البقع المتغيرة.

وثمة نموذج أولي مقترح لليزر البقع الحيوية يمكنه تقدير تركيز الطفيليات وسلوكياتها أثناء مكافحتها بمبيدات الحشرات (Pomarico and DiRocco, 2004). في هذه الحالة، ثمة تغيير في التشكيلة التجريبية المقترحة التي رُتبت فيها البعثة الأمامية بحيث تسمح للضوء بالمرور عبر العينة والتجمُّع عند الطرف الآخر من الجسم المضاء. وتكاثر الحيوانات هو مجال آخر توافر فيه تقنية البقع الحيوية وسيلة لتحديد درجة الحركية في سائل الحيوان المنوي. يترابط النشاط المرصود في بقع الليزر المتغيرة مع حركية خلايا النطاف، وتلك سمة مهمة في تحليل السائل المنوي. وقد قُدِّم نموذج أولي استعملت فيه تشكيلة تجريبية معينة لتحليل نطاف ثور (Carvalho et al., 2009).

لكن تقنية بقع الليزر المتغيرة ما زالت بعيدة عن اعتبارها تكنولوجيا راسخة، بسبب وجود العديد من الصعوبات في استعمال الطريقة، إضافة إلى وجود طرائق مختلفة كثيرة لتفسير تفاصيل الظاهرة الموجودة في أنماط البقع. لذا من الممكن العثور على كثير من المحاولات الحديثة لفهم الظاهرة وإيجاد طرائق جديدة لتحليلها. وبعضها يؤكِّد ضرورة العمل في المجال الطيفي، وبعضها يقترح طرائق لنمذجة المتوسطات، والبعض الآخر يبحث عن تحسينات للتشكيلة التجريبية لكل من التطبيقات القديمة والحديثة. وسوف تكشف التطورات الجديدة بالتأكيد عن مجالات جديدة من البحث والتطبيقات وتدفعها إلى الأمام.

3- تقنية مُواريه

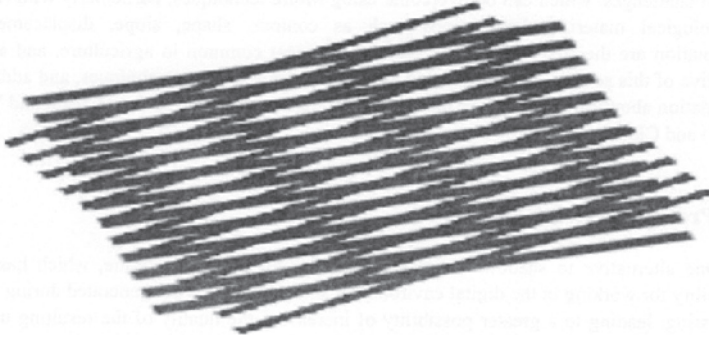
1.3 ما هي تقنية مُواريه

تقنية مُواريه هي تقنية قديمة تحدت تطبيقاتها بقيود التجهيزات التي توافرت عبر تاريخها. لقد وجدت هذه الظاهرة الشهيرة، ذات الصلة بتوليد الأهداب، أساساً نظرياً لها عندما بدأ نيوتن (Newton) وراي (Rayleigh) بتطوير نظريات للبصريات. واليوم من الممكن إدماجها مع تحليل الصورة، فهي لا تعطي نتائج مفيدة وتكرارية إلا عندما يكون من الممكن تسجيل الصور ومعالجتها. وباستعمال الكاميرات التماثلية، تمثلت الطريقة الوحيدة لإنتاج منحنيات مُواريه الناجمة عن تداخل الشبكات البصرية بما سُمِّي ظلُّ مُواريه. وبعد تطوير الكمرات والمنظومات المتقدمة، خاصةً الكاميرات الرقمية القابلة للربط مع الحاسوب، وتطبيق طرائق معالجة صورة جديدة، أمكن تطوير بدائل أفضل لرصد منحنيات التداخل ومن

تمَّ تحسين تقنية الظل التي جعلت بدورها مقترح استعمال إسقاط موارِّيه أكثر قابلية للتطبيق العملي.

وعندما نذكر التداخل في تقنية موارِّيه، خاصة هندسة موارِّيه الفراغية، فإننا نتحدث عن التداخل الكبير المقاس، لا عن التداخل ذي الصلة بالأموج الكهرمغناطيسية الموجود في أنماط البقع. يُري الشكل 6 تراكباً لشبكتين لهما نفس الخطوة مع استدارة نسبية في ما بينهما.

ويكوّن تقاطع الشبكتين شبكة ثالثة لها خطوة خاصة بها ومظهر يعتمد على المواضع النسبية بين نقاط الشبكتين. وهذا يعني أنه يمكن تغيير شكل إحدى الشبكتين من خلال الهئية الثلاثية الأبعاد للجسم الذي سوف يُرقمن باستعمال تقنية موارِّيه.



الشكل 6: تراكب شبكتين بصريتين مع تكوّن شبكة ثالثة تمثّلها الأهداب.

لقد طوّرت تقنية موارِّيه أصلاً بوصفها طريقة يمكن أن تقيس كثيراً من السمات في كثير من مجالات الدراسات الصناعية والزراعية. إن الهدف الرئيسي للقياسات البصرية هو استعمال التقنيات اللاإتلافية التي يمكن تحقيقها بتقنية موارِّيه، وذلك علاوة على المزية الإضافية المتمثلة بإمكان استعمال تجهيزات إضاءة رخيصة الثمن لتجميع ومعالجة الصور في تلك التقنية. ففي معظم الحالات، نحن نتحدث عن الضوء العادي الممثل بجهاز إسقاط الشرائح، وعن استعمال كاميرات رقمية مع حواسيب شخصية تُستعمل فيها برمجيات مفتوحة المصدر.

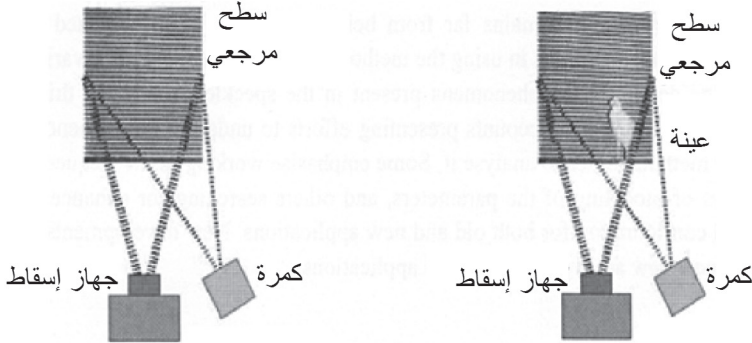
2.3 تطبيقات تقنية موارِّيه في الزراعة

ثمة كثير من الأمثلة الموثقة عن استعمال تقنية موارِّيه في العمليات الصناعية التي يمكن تكييفها بسهولة للتطبيقات الزراعية. إن الزراعة تنطوي على بعض

التحديات المهمة والفريدة التي يمكن تجاوزها باستعمال تقنيات موارٍيه، خاصة في ما يتعلق بالمادة الحيوية. فالتطبيقات مثل كشف منحنيات الكفاف والأشكال والميول والإزاحات والتشوُّه هي من بين أوائل التطبيقات الشائعة في الزراعة، وهي هدف هذا المقطع. ومن أجل تفاصيل أكثر عن نظرية موارٍيه وتاريخها وتقنياتها ومعلومات إضافية عنها، ثمة العديد من المراجع الجيدة المتوافرة منها (Creath and Wyant, 2006) و(Cloud, 1998).

3.3 تقنيات إسقاط موارٍيه

إحدى بدائل ظلال موارٍيه (Shadow Moiré) هي تقنية إسقاط موارٍيه (Projection Moiré) التي تتصف بمرونة أكبر للعمل في البيئة الرقمية لأن الأهداب تتولَّد أثناء المعالجة الرقمية مؤدية إلى إمكانية أكبر لزيادة جودة الصور الناتجة. والتقنية الشهيرة لذلك هي عملية إزاحة الطور التي تمكِّن من استكمال الشبكات داخلياً، وهذا يُنعم الصورة النهائية. يُري الشكل 7 التشكيلة التجريبية لطريقة إسقاط موارٍيه. تُسقط الشبكة ضوئياً على سطح إسقاط من دون جسم، ممثلةً بذلك شبكة مرجعية، ثم يوضع الجسم بالقرب من السطح وتُسقط الشبكة ثانية. وتحصل عملية إزاحة الطور في الحاسوب، حيث تُزاح الشبكة المرجعية من أجل تكوين أربع شبكات منزاحة بمقدار ربع خطوة الشبكة، وتلك هي المسافة بين خطين من الشبكة.

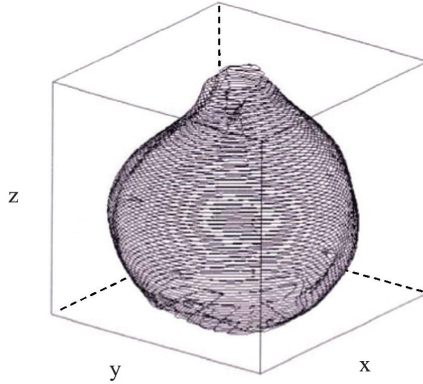


الشكل 7: تشكيلة تجريبية لتسلسل إضاءة (a) الشبكة المرجعية، و(b) الجسم.

4.3 تطبيقات تقنية موارٍيه في الزراعة

يُري الشكل 8 خط الكفاف الرقمي لثمرة أجااص بالصيغة الثلاثية الأبعاد، حيث أُجريت سلسلة من الإضاءات الدوّارة للثمرة في أربع وضعيات تغطيها كلها.

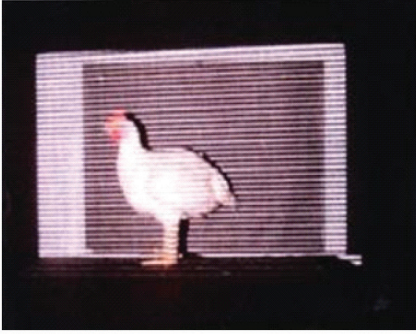
وتلك الصور الأربع هي كل ما جرى تحصيله من أجل توليد جميع الصور المرقمنة المطلوبة باستعمال تقنية إسقاط مُوارييه. وبعد تجميع الصور الأربع ورقمنتها، يحصل إدماجها وفقاً لوضعياتها الهندسية المكانية (Braga et al., 2008).



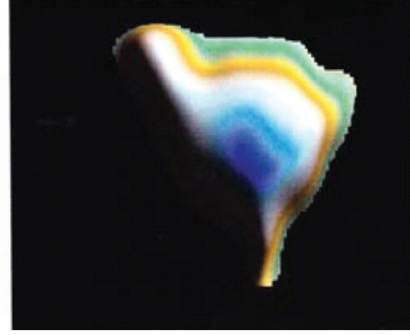
الشكل 8: صورة ثمرة إجاص رقمية بعد بنائها بتقنية مُوارييه الثلاثية الأبعاد. اقتبست من: R.A. Braga Jr., B.S. Oliveira, R.M. Costa, A.C.L., 1/Biosystems Engineering, 102 Lino, I.M. Dal Fabbro, Suppression of border effects in moiré techniques using .Copyright (2009), with permission from Elsevier, 8-three-dimensional methods, 1

يُعتبر شكل المنتج الزراعي واحداً من أهم السمات المميزة له، وهو ذو أهمية في كل من الإنتاج الزراعي والحيواني. والنهج الثلاثي الأبعاد الذي قُدّم آنفاً مفيد في تقييم مظهر الثمار، ومن ذلك تناظر أشكالها الذي يُعتبر عاملاً هاماً للزبون في أثناء شرائه لها من الأسواق.

وبالمثل، يمكن استعمال تقنية مُوارييه في مجال الإنتاج الحيواني، وذلك في تقييم أشكال ومساحات الذبائح، خاصة في إضاءة العينات الحية. لقد أوضح كوستا وآخرون (Costa et al., 2008) الصعوبة في إضاءة عينة حية مثل الدجاجة التي يسبب ريشها كثيراً من عدم الانتظام في السطح. والمفتاح هو تغيير الشبكات من أجل اختيار أفضلها من حيث المسافة بين الخطوط وسماكتها. وهذه التغييرات الصغيرة في التشكيلة التجريبية تتيح اعتماد طريق مُوارييه في كثير من التطبيقات المختلفة. ويُري الشكل 9 مثلاً لشكل دجاجة، ويُري الشكل 10 تشوهاً في الخشب.

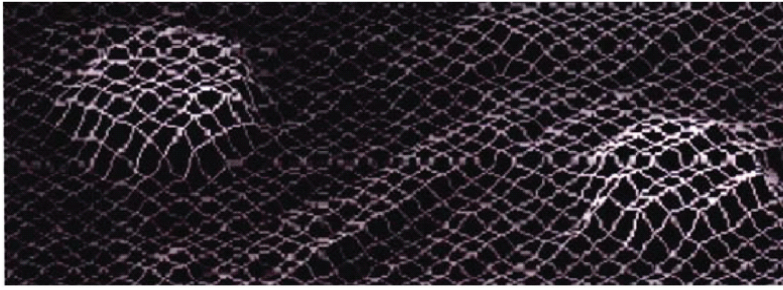


a



b

الشكل 9: مثال لدجاجة مع الشبكة (a) وشكلها المستعاد رقمياً (b).



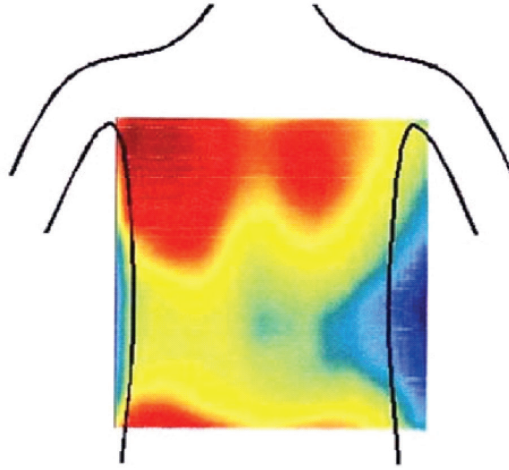
الشكل 10: تشوّه في الخشب جرت رقمته بتقنية موارّيه.

إن مزايا الحصول على مخططات رقمية لحيوانات حية ذات خشونة سطح محسوسة، أو لعطب صغير في سطح خشبي باستعمال نفس الأدوات والطرائق، لكن بتغيير الشبكات ومسافات الكاميرا فقط، تُري بوضوح قوة الطريقة وإمكان استعمالها في الأعمال الصناعية المألوفة (Costa et al., 2008).

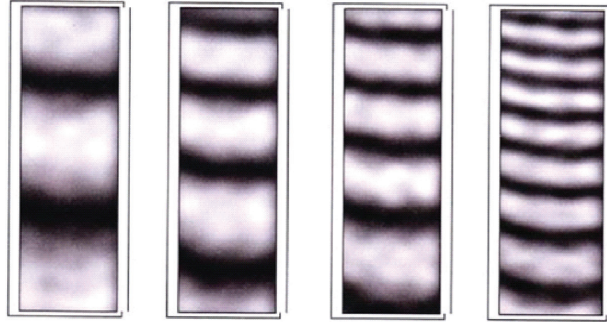
يُري الشكل 11 تجربةً أخرى تخص صورة مرقمنة لجسم حي، هو ظهر سائق جرار، وتسمح هذه الصورة بتوليد شكل يبيّن عدم تناظر هيئة الظهر، وذلك لاستعماله في المساعدة على تصحيح طريقة الجلوس في أثناء العمل، أو لتصحيح بعض الوضعيات ضمن حجرة قيادة الجرار.

والتطبيق الأخير لتقنية موارّيه في هذا المقطع ذو صلة برصد التشوّه في أجزاء من الجرّارات من أجل تطوير تصاميم أكثر كفاءة. يُري الشكل 12 تشوّهًا في شفرات محراث حادة.

ويتطلب استعمال تقنية موارثيه وتقنية البقع الليزرية المتغيرة كثيراً من طرائق وبرمجيات تحليل الصورة من أجل تحسين التباين، أو عزل العينات عن الخلفية، أو الحصول على تقدير لسعات للصورة مثل المساحة. وطرائق تحليل الصورة تلك هي موضوع المقطع التالي.



الشكل 11: مخطط رقمي لظهر سائق جرّار يُظهر انحرافه.



الشكل 12: تشوّه شفرة ناجم عن قوى مختلفة جرى تحديده بقياس المسافات بين الأهداب بتقنية موارثيه.

4- تقنيات تحليل الصورة

1.4 مقدمة لتحليل الصورة

ثمة طيف واسع من التطبيقات الممكنة لتحليل الصورة حاسوبياً، خاصة في الحالات التي تظهر فيها حاجة إلى إجراء قياسات أو عد أشياء أو تسجيل معلومات في المجال الزراعي. وبعض هذه المهام ملائم جداً للأتمتة، وبعضها غير ملائم. وقد يكون من الصعب الحكم على ذلك مسبقاً، لأن الحواسيب والأدمغة البشرية مختلفة عن بعضها تماماً. فما هو سهل لنا يمكن أن يكون من الصعب برمجته ليقوم به الحاسوب، في حين أن الحواسيب تتفوق علينا في كثير من المهام التي نجدها صعبة أو مستحيلة. وثمة مزايا ومثالب عديدة لتحليل الصورة حاسوبياً مقارنة بالعين البشرية:

المزايا:

- الحواسيب موضوعية وغير منحازة.
- نتائج الحاسوب قابلة للتكرار: تعطي النتائج نفسها دائماً من أجل نفس الصورة.
- يمكن للحاسوب غالباً توليد نتائج أسرع مما يمكن للبشر فعله.
- الحواسيب لا تتعب ولا تتذمر من فعل الشيء نفسه مدة طويلة.

العيوب:

- الحواسيب ليست ذكية، وهي تنفذ خطوات الخوارزمية من دون أن تفهم ما تفعله، وحينها يحصل خلل، لا تعرف أنها أخطأت، حتى عندما يكون ذلك جلياً لأي إنسان.
- غالباً ما تحتاج الصور إلى تحضير بعناية وعلى نحو مستنزف للوقت أكثر مما لو جرت معالجتها من قبل شخص.

2.4 البدء بتحليل الصورة

يحصل تحليل الصورة بواسطة خوارزميات على شكل برمجيات حاسوبية. ومعظم الناس لا يرغبون في كتابة تلك البرمجيات بأنفسهم، وأولئك الذين يرغبون

في ذلك يحتاجون إلى مساعدة غير تلك التي يمكن تقديمها هنا. وما نرغب في فعله هنا هو تقديم لمحة عن طبيعة الأشياء التي يمكن فعلها في تحليل الصورة وفكرة غير رياضية عما يحصل. وهذا يمكن المستعملين المهتمين من معرفة ما ينطوي عليه تحليل الصورة، وما يمكن أو لا يمكن فعله بسهولة، وماذا تعني المصطلحات.

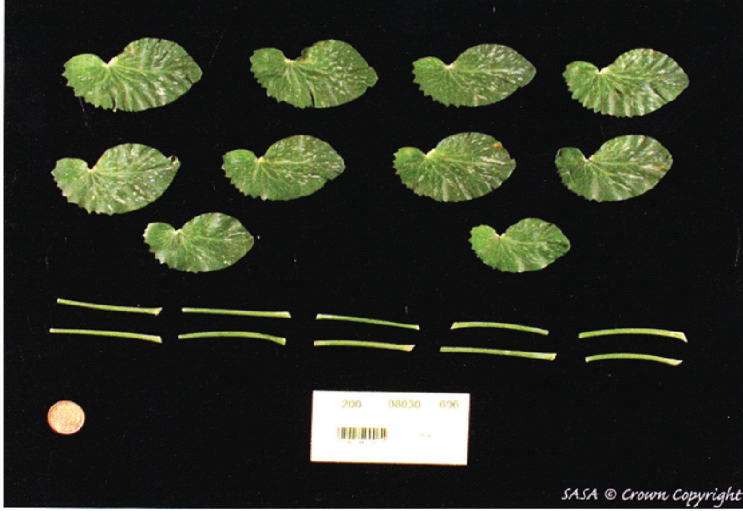
إذا أردت ألا تكتب برمجياتك بنفسك، عليك استعمال بعض البرمجيات المتنوعة المتوافرة تجارياً للاستعمالات العامة والتطبيقات الخاصة (تفسير صور المجهر مثلاً). لكن أسعار تلك البرمجيات شديدة الاختلاف. وتوجد برمجيات مجانية مفتوحة المصدر أيضاً، وإحدى رزم البرمجيات الجيدة لتكون نقطة انطلاق لتحليل الصورة هي الرزمة ImageJ التي أنتجها المعاهد الوطنية للصحة في الولايات المتحدة.

3.4 تحضير الصورة

يتصف البشر بالمقدرة على رؤية ما هو موجود في الصورة عندما لا تكون جودتها كافية، وعندما يكون التبئير أو التباين سيئاً، أو عندما تشوش أشياء أخرى الصورة دون أن تكون ذات صلة بها. وفي ما يخص خوارزمية الحاسوب، يمكن الحصول على النتائج بثوقية أكبر إذا حُضرت الصورة جيداً. وقد يكون تحقيق ذلك مستنزفاً للوقت أحياناً، وبسيطاً لبعض السمات ولا يتطلب تحضيراً سوى لمرة واحدة فقط مهما كان عدد الصور التي سيجري التعامل معها (كالإضاءة مثلاً). ومن الإرشادات العامة للحصول على صور سهلة التحليل الآتي:

- يجب أن تكون الإضاءة ساطعة وموزعة ومتجانسة فوق كامل مساحة الصورة. فالإضاءة الموزعة (مثل تلك نراها في الخارج في يوم غائم) لا تسبب ظلالاً يمكن أن تؤدي إلى مشكلات أحياناً.
- يجب أن تكون خلفية الصورة نظيفة ما أمكن، وأن يكون لونها متميزاً عن ألوان الأشياء موضوع الاهتمام في الصورة. والخلفية السوداء مفضلة إن أمكن.
- عندما يكون ثمة عدة أشياء في الصورة، يجب فصلها بحيث لا تتماس أو تراكب في ما بينها أو مع حواف الصورة.
- من المفيد تضمين الصورة بعض المعلومات التعريفية بحيث لا يكون ثمة غموض في ما تحويه.

- ويمكن لأداة قياس للمسافة، متميزة عن الأشياء موضوع الدراسة، أن تكون مفيدة حين إجراء قياسات للأبعاد أو المساحة. وفي حالة صور النباتات، قد يكون من غير الممكن الحصول على صور بوضوح صورة الشكل 13 إذا لم يكن من الممكن إتلاف النبات. والصورة في الشكل 14 تنطوي على صعوبة كبيرة للتحليل بواسطة الحاسوب، خاصة في ما يتعلّق بِعَد الأزهار أو قياس مساحة ورقة على سبيل المثال.



الشكل 13: مثال لصورة وريقات بازلاء وسويقاتها محضرة لإجراء قياسات عليها بتحليل الصورة.



الشكل 14: نبات الفليفلة في بيت زجاجي.

4.4 ما هي الصورة

الصورة هي صفيقة ثنائية الأبعاد من البكسلات، أي المربعات الصغيرة التي لكل منها شدة ولون معينين. وإذا كانت الصورة وحيدة اللون (أبيض وأسود)، كانت لكل بكسل قيمة شدة واحدة تتراوح بين الصفر (الذي يظهر أسوداً) وقيمة حدية عليا ما. ويحدّد عدد القيم المتميّزة ميّز الصورة، والقيمة الشائعة له هي 256، وهذا ميّز جيد لمعظم الأغراض.

وتوجد لكل بكسل في الصور الملونة ثلاثة أعداد تحدّد لونه. وأكثر طرائق تحديد اللون الشائعة هي تحديد شدات الألوان الأحمر والأخضر والأزرق في كل بكسل، وتلك هي منظومة الـ (Red, Green, Blue) RGB. وهذا يتوافق جيداً مع الطريقة التي تحسّ بها العين باللون.

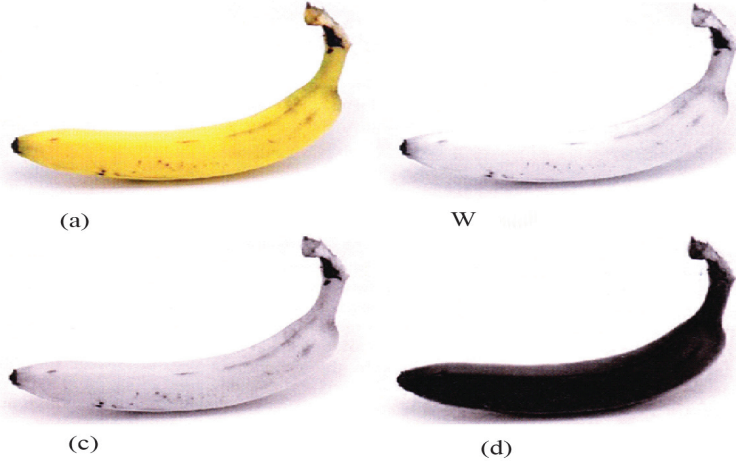
5.4 تراكيب الصورة

تُخزن شدات البكسلات في ملف حاسوبي تسلسلياً. وثمة طيف واسع من تراكيب الصورة التي استُعملت عبر السنين، وهي تختلف عن بعضها بكيفية ترتيب شدات البكسلات، وبالمعلومات الإضافية التي تتضمنها، ونوع الضغط المستعمل (انظر ما يلي لاحقاً). وأكثر التراكيب شيوعاً في وقت كتابة هذا الفصل هي تركيبة TIFF (تركيبة ملف الصورة المعلوم (Tagged Image File Format)) و GIF (تركيبة تبادل البيانات (Graphics Interchange Format)) و JPEG (تركيبة مجموعة خبراء التصوير المشتركة (Joint Photographic Experts Group))، وثمة المئات غيرها. وتتضمن التركيبة JPEG عادة بعض الضغط مع ضياع للتفاصيل، ولذا تُعتبر غير صالحة للأغراض العلمية. إلا أنها واسعة الاستعمال، ولم يجد المؤلفان أن هذا الضياع للتفاصيل الدقيقة يمثل مشكلة في معظم التطبيقات.

6.4 ضغط الصورة

يحتوي ملف الصورة على لائحة بشدات البكسلات، كل على حدة. ويمكن للصورة أن تتألّف ببساطة من عدة ملايين البكسلات، وثلاث شدات لكل بكسل. وبوجود 256 شدة ممكنة، يُولّد كل مليون بكسل ملفاً حجمه يساوي 3 ميغا بايت. ومن أجل تقليص مقدار حيّز التخزين اللازم، طُوّرت طرائق ضغط الصورة التي تُصنّف في فئتين، مضياعة وغير مضياعة.

في الضغط غير المضياع، يُقلَّص حجم الملف مع الحفاظ على جميع تفاصيل شدات بكسلات الصورة. ويتحقَّق تقليص الحجم بطرائق مختلفة منها مثلاً الاستعاضة عن سلسلة من شدات البكسلات المتماثلة بمعلومات عن بداية السلسلة وطولها ونهايتها، فهذه المعلومات تحتاج إلى حيز تخزين أصغر.



الشكل 15: (a) صورة موزة. (b) و(c) و(d) هي مركبات الصورة اللونية.



الشكل 16: نتائج تطبيق مرشح حواف بريوت (Prewitt) على صورة الشكل 14.

وفي الضغط المضيق، يمكن تحقيق تقليص أكبر في حجم الملف بالاستعاضة عن شدات البكسلات بتقريبات لها. تقرب مصاغة الـ JPEG الشدات بتوابع مثلثية بناوفاً 8×8. وتمكّن عملية الضبط القابل للتغيير من المقايضة بين الدقة والحجم.

7.4 تحسين الصورة

إن جميع الصور عرضة لبعض التبدل في جودتها عن طبيعتها الأصلية، سواء كان ذلك ناجماً عن الضجيج، أم التلطيخ، أم التشويه. ويحصل تحسين الصورة بمجموعة من طرائق تعديل الصور لتقليص تلك الآثار بغية مساعدة الإنسان على تفسيرها، أو تحضيراً لمزيد من المعالجة. وسوف نلظر هنا في المرشحات أولاً، ثم في إزالة التشوّه، ثم في الاستيفاء أو الاستكمال الداخلي. وثمة للمرشحات دوران في تحليل الصور، هما تقليل الضجيج بالتنعيم، وتأكيد الحواف، أي الحدود بين الأشياء أو أجزاء الأشياء. وتكون المرشحات خطية إذا كانت قيم خرجها تراكيب خطية لبكسلات الصورة الأصلية، وإلا كانت لا خطية.

إن المرشحات الخطية مفهومة تماماً، وهي سريعة الحساب. ومن الممكن دراستها وتنفيذها في المجال الزمني أو الترددي. ويمكن تصنيفها على أنها مرشحات تمرير ترددات منخفضة، وذلك من أجل تنعيم الصورة بإزالة مركبات الترددات العالية منها، أو مرشحات تمرير ترددات عالية، تعمل على تأكيد الحواف بإزالة مركبات الترددات المنخفضة. والفئة الثالثة هي مرشحات تمرير الحزمة التي تزيل الترددات الدنيا والعليا من الصورة. ويمكن العثور على مزيد من التفاصيل عن المرشحات في (Glasbey and Horgan, 1995, chapter 3). إن الترشيح بغرض تخفيض مستوى الضجيج (بمرشحات التنعيم الخطية) يُلطِّح الحواف حتماً ويجعلها تنفّس، لأن كلاً من الحواف والضجيج يمثلان مركبات عالية التردد في الصورة.

أما المرشحات اللاخطية فتستطيع تخفيض مستوى الضجيج والحفاظ على الحواف في نفس الوقت، إلا أن أسسها النظرية غير متينة، وهي بطيئة في حسابها. وأبسط المرشحات اللاخطية وأكثرها دراسة واستعمالاً هو مرشح الوسطي المتحرك (Moving Median).

ويمكن استعمال المرشحات اللاخطية أيضاً لكشف الحواف، على غرار الميّن في الشكل 16. تظهر الخطوط حيث يكون ثمة تغير سريع في قيم البكسلات المتجاورة التي يمكن لها أن تساعد على التفسير البصري للصور، إضافة إلى استعمالها أساساً لتجزئة الصورة.

ومرشحات الأشكال (Morphological Filters) هي فئة جزئية من المرشحات اللاخطية، لكنها تمثل أيضاً لبنات بناء لنظرية لتحليل الصورة (Serra, 1982, 1988). تستند أبسط أنواع هذه المرشحات إلى عمليات الزمر (للصور الثنائية ذات القيمتين فقط) وإلى عمليتي القيمة العظمى (Max) والقيمة الصغرى (Min) للصور الرمادية أو الملونة. ويُري الشكل 17 أبسط مؤثرات العمليات. من حيث الجوهر، يبحث مؤثر التعرية (Erosion) (أي تفريغ الصورة) عن مجموعة نقاط في الجسم حيث يمكن وضع عنصر بناء (قرص غالباً) بحيث يقع كلياً ضمن الجسم. وتضع عملية التوسّع (Dilation) عنصر بناء في كل نقطة لتعطي جسماً جديداً يغطي كل المناطق. وهذه عملية مكافئة لتعرية الخلفية. والفتح (وهو مكافئ لتوسيع يلي تعرية) يشابه التعرية إلا أنه يأخذ القرص كله (أو عنصر بناء آخر) بدلاً من المركز فقط. والإغلاق هو العملية المعاكسة للفتح (انظر الشكل 19). وفي حالة الصورة ذات التدرج الرمادي، يمكن النظر إلى تابع الشدة على أنه سطح ثلاثي الأبعاد، وتُختزل هذه العمليات إلى تحصيل القيم الصغرى والعظمى ضمن نافذة متحركة. ويمكن تحقيق تحسين هائل للصور غالباً باستعمال سلسلة من هذه المرشحات.

ويُعتبر تقويم الصور (Unwarping) مرحلة هامة في كثير من تطبيقات تحليل الصور (Glasbey and Mardia, 1998, 2001). فثمة حاجة إليه لإزالة التشوهات البصرية التي تُحدثها الكاميرا أو الأداة البصرية (Tang and Suen, 1993)، ولتزايد الصورة بشبكة مرجعية خريطة مثلاً، أو لمحاذاة صورتين أو أكثر معاً (Brown, 1992). على سبيل المثال، المطابقة مهمة في إعادة تركيب الشكل الثلاثي الأبعاد من سلسلة من المقاطع الثنائية الأبعاد أو أزواج الصور المجسّمة. وقد بُذلت جهود كثيرة على تطوير خوارزميات لتزويد صور الأقمار الصناعية بمعلومات منظومة المعلومات الجغرافية، أو معلومات أخرى من منظومة استشعار من بُعد من مثل المجسات البصرية ورادارات الفتحة الصناعية (Synthetic Aperture Radars) (انظر مثلاً الفصل 2 من Richards, 1986). وفي الآونة الأخيرة، كان ثمة اهتمام كبير في تزويد الصور الطبية بمعلومات عن جسم الشخص (Colchester and Hawkes, 1991, x3). وثمة للصور المركبة الناتجة من استعمال وسائل تصوير مختلفة أهمية كبرى. على سبيل المثال، تكشف صور الأشعة السينية عن البنية، في حين أن صور الرنين المغنطيسي تكشف عن الوظيفة، ولذا فإن جمعها معاً يعطي صوراً أغنى بالمعلومات. ومع أن الصور الرقمية تحتوي عادة على قيم بكسلات عند عقد شبكة مربعة، فإن ثمة حاجة إلى قيم مستكملة بالاستيفاء الداخلي

(Interpolation) في المواضيع الأخرى بين العقد لأسباب عديدة منها تكبير الصورة للمساعدة على التفتيش البصري، وإمالتها من أجل وضعها ضمن إطار مرجعي آخر. وعلى وجه الخصوص، تظهر هذه المسائل كثيراً في حالة الصور الطبية حيث من غير الممكن تكبير الصورة بزيادة مبرز مجس التصوير.

8.4 تجزئة الصورة

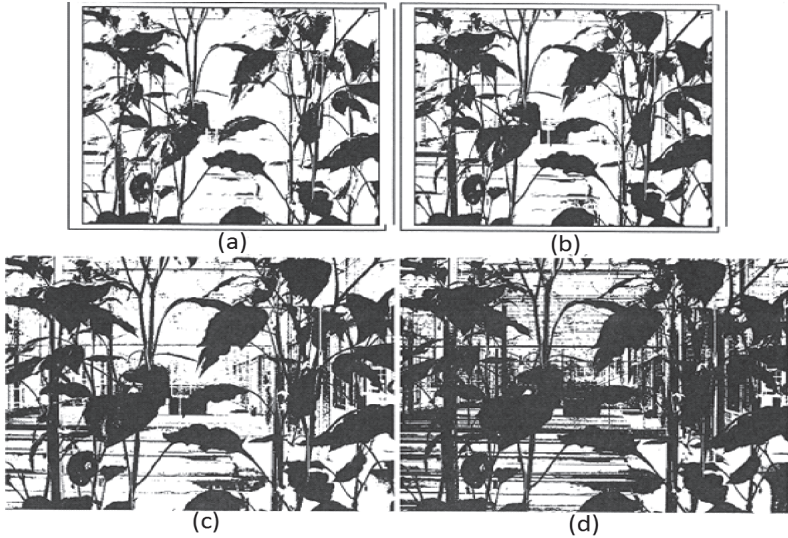
يُستعمل مصطلح التجزئة في منشورات معالجة الصورة للدلالة على عملية تقسيم الصورة إلى مناطق تخص أجساماً مختلفة أو أجزاء مختلفة منها. ويُخصَّص كل بكسل لمنطقة أو فئة أو أكثر. والتجزئة الجيدة عادة هي التي يكون فيها للبكسلات الموجودة في نفس الفئة القيمة نفسها وتشكّل منطقة متصلة، وتكون غير مماثلة للبكسلات المجاورة التي وُضعت في فئات أخرى. والتجزئة غالباً هي الخطوة الحاسمة في تحليل الصورة: فهي النقطة التي تنتقل عندها من اعتبار كل بكسل وحدة مشاهدة، إلى التعامل مع الأجسام (أو مع أجزاء منها) في الصورة المكوّنة من كثير من البكسلات. وهي ضرورية قبل إجراء القياسات على الصورة. وإذا أُجريت التجزئة على نحو جيد، أصبحت جميع المراحل الأخرى من تحليل الصورة أبسط، لكن النجاح غالباً ما يكون جزئياً فقط.



الشكل 17: شكل (أزرق) وتوسعته (أخضر) وتعريفه (أصفر) بواسطة عنصر بناء معيّن الشكل.

ثمة أربع طرائق عامة للتجزئة: العتبة، والحافة، والمنطقة، والنموذج (للاطلاع على مراجعة للموضوع انظر Haralick and Shapiro, 1992). في طريقة العتبة، تُخصَّص

البكسلات للفئات تبعاً للمجالات التي تقع قيمها ضمنها. وفي التجزئة القائمة على الحواف، يُستعمل مرشح حواف لترشيح الصورة حيث تصنّف البكسلات بوصفها بكسلات حافة أو بكسلات، لا حافة في خرج المرشح، والبكسلات التي لا تُفصل بحافة تُخصّص لنفس الفئة. وتعمل الخوارزميات القائمة على المنطقة بتجميع البكسلات المتجاورة المتماثلة القيم معاً على نحو تكراري، وبفصل مجموعات البكسلات غير المتماثلة القيم عن بعضها. أخيراً تتضمن الطرائق القائمة على النموذج استعمال الاستدلال البايزياني (Bayesian Inference) والقوالب العشوائية (Grenander, 1996). وتُعتبر طرائق الحافة بسيطة من حيث المبدأ، وثمة طيف كبير من خوارزميات كشف الحافة. لكنها تنطوي على مشكلات من حيث إن معظم خوارزميات كشف الحواف لا تعطي منحنيات مستمرة مغلقة كما ينبغي لحدود المنطقة أن تكون. لذا يجب بذل جهد حيثئذ لتجاوز تلك المشكلة، إما بمحاولة وصل الحواف معاً، أو بطريقة أخرى. أما الطرائق القائمة على المنطقة فلا تعاني من تلك المشكلات، وقد اقترح كثير من التعديلات لها. وإحدى سمات هذه الطرائق هي أنها تنحو نحو إعطاء نتائج لامتناحية (أي مستقلة عن الاتجاه) وتعتمد على مرور الخوارزمية عبر الصورة من أعلى إلى أسفل، أو من اليمين إلى اليسار، أو العكس. وبغية الإيضاح، يُري الشكل 18 نتائج تطبيق أربع عتبات مختلفة على صورة الشكل 14 في محاولة لتحديد نوع النبات. ومنها يمكن أن نرى أن ما من عتبة يمكن أن تحقق ذلك لأن بعض بكسلات الخلفية أعمق من بعض بكسلات الأوراق.



الشكل 18: نتائج تطبيق أربع عتبات مختلفة على صورة الشكل 14.

9.4 القياسات

إن استخلاص معلومات كمية هي الغاية النهائية لمعظم أنواع تحليل الصورة في البحوث الزراعية. ويمكن للمطلوب أن يكون ببساطة هو عد الأشياء ضمن المشهد، أو قياس مساحتها، أو قد يكون أكثر تعقيداً، ومن ذلك وصف أشكال الأشياء بغرض التمييز بينها. إن عد الأشياء في الصورة مسألة بسيطة إذا نجحت تجزئة الصورة في تخصيص جزء واحد منها فقط لكل جسم. وإذا لم يتحقق ذلك، كان التدخل اليدوي ضرورياً لاستكمال التجزئة. ويمكن إجراء اختصار للعمليات أحياناً. على سبيل المثال، إذا كانت المساحة الوسطية للجسم معروفة، أمكن تقدير عدد الأشياء في الصورة، حتى لو كانت متماثلة، وذلك من خلال تقسيم المساحة الكلية، المغطاة بكل الأشياء، على تلك المساحة الوسطية. حتى إنه من الممكن السماح للأشياء بالترابك، معاً ما دام من الممكن نمذجة هذه العملية، وذلك بافتراض أن الأشياء متوضّعة عشوائياً في الصورة، وباستعمال خواص النماذج البوليانية (Boolean) (Cressie, 1991, pp 753-759).

وسم الأشياء

العملية التي يجب تنفيذها بعد فصل الأشياء عن الخلفية هي تعريفها إفرادياً بحيث تُمكن معالجتها منفصلة. ويمكن إجراء ذلك بسهولة بخوارزمية تسمح الصورة باتجاهين، معطية لكل بكسل من جسم يُصادفها نفس علام الجسم الذي أعطته للبكسلات المجاورة التي جرت زيارتها من قبل، أو تعطيه علاماً جديداً إذا لم يكن ذلك قد حصل. وتبحث مرحلة ثانية بعدئذٍ عن بكسلات مجاورة أُعطيت علامات مختلفة، وتُجرى عملية وسم من جديد.

ترشيح الأجسام

قد لا تكون جميع الأشياء التي جرى عزلها عن الخلفية موضع اهتمام. ففي كثير من الحالات قد تُعزل شذرات صغيرة من الغبار أو أشياء أخرى تُعتبر «وسخاً». ويمكن استبعاد هذه الأشياء بسهولة بترشيحها وفقاً لمعيار معين من مثل عدد البكسلات الكلي التي يتألف منها الشيء. ويمكن إجراء هذا الترشيح البسيط قبل القيام بأي قياسات. وإذا كان المعيار أكثر تعقيداً (مقدار استدارة محيط الشيء مثلاً)، أُجريت القياسات، وبعدئذٍ تُستبعد الأشياء المرفوضة من مجموعة البيانات النهائية.

والآن سوف ننظر في القياسات التي يمكن إجراؤها على الأشياء التي في الصورة:

العدد

يتحدّد عدد الأشياء بطريقة بسيطة جداً، وذلك من العدد الكلي للأشياء الموسومة وغير المرفوضة بالترشيح.

المساحة

وهذا أسهل قياس يُجرى على الأشياء في الصورة، وهو مثال جيّد لقوة تحليل الصورة، حيث إن القيام بذلك بالطرائق اليدوية صعب ما لم يكن للجسم شكل منتظم. إن مساحة الورقة مهمة للنبات، لكنها غالباً ما تكون غير منتظمة، ولذا يكون قياس المساحة بتحليل الصورة مفيداً.

تناسب مساحة الورقة مع عدد البكسلات التي تمثّلها. طبعاً، يوجد بعض الارتياب عند حواف الصورة، إلا أنه إذا كانت العتبة بحيث تُسجّل البكسلات على أنها تنتمي إلى الجسم إذا كانت نصف مغطاة به على الأقل، لا العكس، ألغت الأخطاء بعضها على طول الحافة. وإذا كان مُميّز الصورة عالياً، أصبحت تأثيرات الحواف أقل أهمية أيضاً.

وقد يُطرح تساؤل بخصوص كون مساحات البكسلات في جميع نقاط الصورة متساوية. إن من الممكن تحقيق ذلك التساوي بالتصوير بعدسات ذات مسافة محرقية كبيرة.

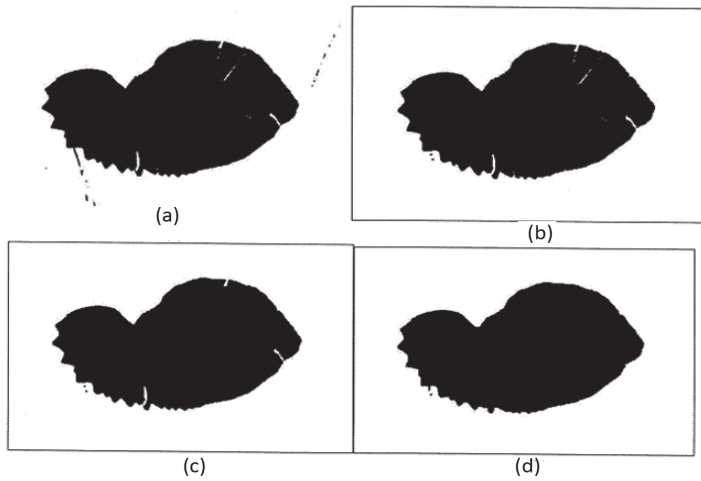
الطول والعرض

يمكن قياس الطول والعرض بسهولة كبيرة بطريقة مستقلة عن اتجاه الجسم ضمن الصورة. الطول هو أطول مسافة بين بكسلين موجودين ضمن الجسم. حيثنذ يكون العرض هو طول أطول خط ضمن الجسم معامد للطول.

إن هذين التعريفين ليسا مقبولين تماماً للأجسام المنحنية، مثل الموزة أو قرن البازلاء. وفي تلك الحالة نعرّف طولاً يساير الانحناء. ولفعل ذلك من المفيد تقديم مفهوم الهيكل، وفيه نُزيل بكسلات على نحو متكرر من حدود الجسم على ألا نقطع

ترابط الجسم، أو نقص حواف التواءات أو القضبان البارزة من الجسم. إن كثيراً من التعاريف التي من هذا النوع تترك أجساماً منحنية بنعومة مع قضبان تُزال بعدئذٍ. وحينئذٍ يمكن استعمال الخط الرئيسي المتبقي من الهيكل لتحديد الطول (الشكل 20). والمحور الأوسط هو مفهوم مشابه ويُعرّف بأنه نقطة إطفاء النار التي بدأت في نفس الوقت في جميع نقاط الحدود. ومن الواضح أنه مشابه لمفهوم الهيكل.

وقد نرغب في تعريف للطول أكثر تحديداً لبعض الأجسام. وتلك هي حالة أذنين أوراق البازلاء المبيّنة في الشكل 13. إن الطول هنا هو المسافة بين أبعد نقطتين إلى يمين ويسار ثلم ارتباط الوريقة بالساق. في هذه الصور، وُضعت الوريقة بحيث تقع هاتان النقطتان على خط أفقي، وحينئذٍ يمكن الحصول على الطول من المسافة الأفقية بينهما.



الشكل 19: (a) صورة وريقة بازلاء ناتجة من تطبيق طريقة العتبة على صورة الشكل 13. (b) فتحة على شكل مربع مقاسه 3×3 أزيلت منها البقع الموجودة في الخلفية. (c) إغلاق (b) بنفس عنصر البناء الذي يزيل هذا الثقب والشقوق الموجودة ضمن حدود الوريقة. (d) إغلاق بعنصر بناء أكبر (7×7).

الحدود

طول حدود الجسم هي المسافة المقاسة حول محيطه. وهذا قياس مفيد في حالة الأجسام ذات المحيط الناعم فقط. أما إذا كان المحيط خشناً جداً، فطول الحدود سوف يعتمد على الأرجح على مِيز الصورة. توصف الحدود الخشنة التي من هذا النوع عادة

بأنها فراكتالية (Fractal)، وسواحل كثير من الجزر هي من ذلك النوع: تعتمد أطوالها على سلم المقاسات المستعمل لقياسها.

في حالة الحدود الناعمة، يمكننا السير على الخط الممثل لها وقياس طولها. ومن السهل التحقق من كون البكسلات واقعة على الحدود (وتلك المجاورة للجسم ولا تنتمي إليه). ونعلم تلك التي اعتبرنا أنها واقعة على الحدود كي لا نسجلها مرة ثانية.

ومن الأشياء التي يجب أن نهتم بها كيفية تعريف التوصيلية: يمكن للبكسل أن يكون متصلاً بأيٍّ من جيرانه الأربعة: فوقه وتحتته وإلى يمينه وإلى يساره (رباعي الارتباط)، ويمكن أن تشتمل الجيران على أربعة البكسلات المتوضعة قطرياً أيضاً (ثماني الارتباط). ليس ثمة مشكلة في استعمال أيٍّ من التعريفين، شريطة التزام التعريف نفسه دائماً. وإذا قمنا بعدد أشياء متماسة تقريباً، فإنه قد يكون ثمة بعض الاختلاف فيما نعدّه نتيجة للترتيب في اعتبار الجسم منفصلاً.

وفي حالة الخط المنحني، يمكن الحصول على الطول بعدد من الطرائق تبعاً لتعريف التوصيلية المعتمد. وهذه المسألة مناقشة في (Glasbey and Horgan, 1995).

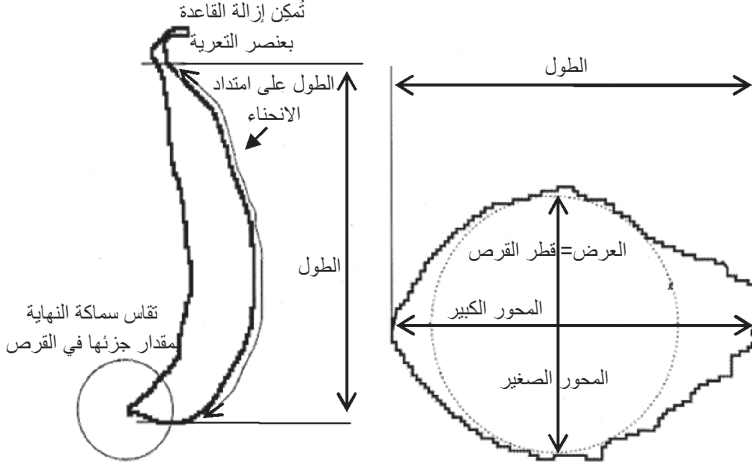
10.4 قياسات الشكل

يمكن استعمال طول الحدود والمساحة لاشتقاق مؤشرات مباشرة إلى شكل الجسم. ويتصف القرص بأكبر مساحة من أجل طول محيط معين. فإذا عرفنا النسبة $B^2/4\pi A$ حيث A هي المساحة و B هو طول المحيط (الحدود)، كانت قيمتها الدنيا تساوي 1 في حالة القرص، وأكبر من ذلك في حالة الأشكال الأخرى.



الشكل 20: (a) طريقة العتبة للمركبة الزرقاء من الموزة في الشكل 13. لاحظ أن جزءاً صغيراً من الظل الذي تحت الموزة قد ضُمن في النتيجة. لكن اختيار العتبة بمزيد من العناية باستعمال المركبات الملونة يمكن أن يستبعده، وقد يكون التصوير على خلفية سوداء أفضل. (b) الهيكل، ومن الممكن إزالة الخطوط القصيرة المتفرعة منه.

وكلما كانت النسبة أكبر، كان الشيء أقل دائرية. وينجم ذلك إما عن استطالة الجسم، أو عن كون محيطه غير منتظم. ويمكننا أيضاً استعمال العلاقة بين المساحة والطول والعرض المعرّفة آنفاً لتحديد معايير قياس أخرى للشكل. انظر الشكل 21.



الشكل 21: مثالان لقياسات يمكن إجراؤها على قرن وورقة بازلاء.

خلاصة

تؤدي القياسات البصرية دوراً مفيداً في تحليل كثير من المواد في الزراعة، وعلى وجه الخصوص في التغلب على الصعوبات المترتبة بالمكوّنات الحيوية، وذلك باستعمال تقنيات لإتلافية مثل طريقتي مؤارّيه والبقع الحيوية التي لا تتداخل مع تركيب العينة الحيوية، إضافة إلى المشكلات التي تظهر في الصور التي تُلتقط بالوسائل البصرية الشائعة.

ويبدو من المرجح أن تقنيات تحليل الصورة سوف تستمرّ بالنمو من حيث القوة والأدوات، وما يتحقّق بالرؤية البشرية سوف يُقلّد تدريجياً بواسطة الحواسيب. وفي نفس الوقت، نأمل أن نرى تقارباً بين مُهج تحليل الصورة المختلفة، وظهور طريقة أكثر منهجية لتحلّ محلّ كثير من الطرائق التجريبية الحالية. إن ثمة فرصة عظيمة لتحديد موسطات الصور كمياً ومقارنتها على نحو يفوق ما تستطيع الرؤية البشرية فعله. على سبيل المثال، يمكن استعمال قواعد البيانات الكبيرة للصور الطبية المتراكمة لتقدير النطاقات الطبيعية لمقاسات وأشكال أعضاء الجسم، واستعمالها لتقييم العينات الجديدة. وعلى نحو مشابه، يمكن وضع الأرشيف الهائل من صور

الاستشعار عن بعد في الاستعمال على نحو يفوق كثيراً استعمالها الحالي. يُضاف إلى ذلك أن التكنولوجيات الجديدة سوف تُنتج أنواعاً جديدة من الصور تحتاج إلى طرائق جديدة من المعالجة. وثمة أيضاً اهتمام متزايد بإدماج المعلومات الموجودة في أنواع الصور المختلفة، ومنها الرنين المغناطيسي الذي يوفر تفاصيل عن الأنسجة الطرية، والأشعة السينية التي تعطي تفاصيل العظام.

كلمة شكر

يتوجّه المؤلفان بالشكر إلى جامعة لافراس (Lavras) الاتحادية في البرازيل. وقد مُوّل هذا العمل جزئياً من قبل إدارة بحوث وتحليل البيئة والأرياف التابعة للحكومة الاسكتلندية. ويشكران وكالة العلوم الزراعية الاسكتلندية على ساحتها باستعمال صورة الشكل 13.

مراجع

- Arizaga, R; Trivi, M; Rabal, H. *Opt Lasers Tech.*, 1999, 31, 163-169.
- Arizaga, R; Cap, N; Rabal, H; Trivi, M. *Opt Eng.*, 2002, 41, 287-294.
- Braga, RA; Oliveira, BS.; Costa, RM; Lino, ACL; DalFabbro, 1M. *Biosyst Eng.*, 2008, 102, 1-8.
- Brown, LG. *ACM Comput Surveys*, 1992, 24, 325-376.
- Carvalho, P; Barreto, JB; Braga, RA; Rabelo, GF. *Biosyst Eng.*, 2009, 102, 31-35.
- Cloud, GL. *Optical Methods of Engineering Analysis*; Cambridge University Press: Cambridge, 1998.
- Colchester, ACF; Hawkes, DJ. *Information Processing in Medical Imaging. Proceeding of the 12th International Conference on Information Processing in Medical Imaging*. Springer-Verlag, Berlin, 1991.
- Costa, RM; Braga, RA; Oliveira, BS; Silva, Yanagi, T; Lima, JT. *Biosyst Eng.*, 2009, 100, 321-328.
- Creath, K; Wyant, JC. In *Optical Shop Testing*; Editor: Malacara, D.; Wiley-Interscience: New York, 2006; pp 653-685.

Cressie, NAC. *Statistics for Spatial Data*. Wiley: New York, 1991, pp 753-759.

Fujii, H; Asakura, T; Nohira, K; Shintomi, Y; Ohura, T. *Opt Lett.*, 1985, 10, 104-106.

Gonzalez, RC; Woods, RE. *Digital Image Processing*; 3rded. Pearson-Prentice Hall: New York, 2008, 954p.

Glasbey, CA; Horgan, GW. *Image Analysis for the Biological Sciences*. Wiley: Chichester, 1995.

Glasbey, CA; Mardia, KV. *J Appl Stat*, 1998, 25, 155-171.

Glasbey, CA; Mardia, KV. *J Royal Stat Soc, Series B 2001*, 63, 465-514.

Grenander, U. *Elements of Pattern Theory*. Johns Hopkins University Press: Baltimore, 1996.

Haralick, RM; Shapiro, LG. *Computer and Robot Vision, volume 1*. Addison-Wesley: Massachusetts, 1992.

Pajuelo, M; Baldwin, G; Arizaga, R; Cap, N; Rabal, H; Trivi, M. *Opt Lasers Eng.*, 2005, 40, 13-24.

Passoni, LI; DaiPra, A; Rabal, HJ; Trivi, M; Arizaga, R. *Opt Comm.*, 2005, 246, 219-228.

Pomarico, JA; DiRocco, HO. *Ver Sci Instr.*, 2004, 75, 4727-4731.

Rabal, H; Braga, RA. *Dynamic Laser Speckle and Applications*; CRC/Taylor & Francis: New York, 2008, 304p.

Rabelo, GF; Braga, RA; DalFabbro, IM; Trivi, M; Rabal, H; Arizaga, R. *Rev Bras Eng Agr Amb.*, 2005,9, 570-575.

Richards, JA. *Remote Sensing Digital Image Analysis: An Introduction*. Springer-Verlag: Berlin, 1986, chapter 2.

Serra, J. *Image Analysis and Mathematical Morphology*. Academic Press: London, 1982.

Serra, J. *Image Analysis and Mathematical Morphology. Volume 2: Theoretical Advances*. Academic Press: London, 1988.

Tang, YT; Suen, CY. *IEEE Transac Sys, Man Cybern*, 1993 23,155-171.

الفصل العاشر تقييم أعلاف النباتات المعدلة جينياً من حيث المغذيات والأمان

Gerhard Flachowsky^() and Sven Dänicke*

Institute of Animal Nutrition, Friedrich-Loeffler-Institute (FLI),
Federal Research Institute for Animal Health, Bundesallee 50,
D-38116 Braunschweig

ملخص

ستكون هناك ثمة منافسة قوية على الأرض الزراعية بين مجالات الأغذية والأعلاف والوقود والألياف والإسكان والمحميات الطبيعية في المستقبل. لذا يجب أن تكون النباتات العالية المردود ذات المدخلات الخارجية القليلة هدفَ زراعة النباتات الرئيسي. وإلى جانب زراعة النباتات المعتادة، يبدو أن ثمة إمكانات في تكنولوجيا النبات الحيوية للإسهام في هذا الهدف. فقد ازدادت مساحة زراعة النباتات المعدلة جينياً في مختلف أنحاء العالم من نحو 1.7 (في عام 1996) إلى نحو 114 مليون هكتار (في عام 2007). هذا يعني أن نحو 7% من الأرض الزراعية في العالم قد زُرعت بنباتات معدلة جينياً في عام 2007. لذا فإن تقييم نباتات الغذاء والأعلاف المعدلة جينياً من حيث المحتوى الغذائي والأمان على درجة كبيرة من الأهمية. وفي هذه المقالة، سوف نراجع المستوى الحالي من المعرفة بهذا الشأن،

(*) المؤلف المراسل: الهاتف: 49 531 5963101، الفاكس: 49 531 5963299 e-mail: gerhard.flachowsky@fli.bund.de

ملخصين نتائج الدراسات في الآتي:

- تساوي مساحة الأرض المزروعة بنباتات معدلة جينياً نحو 700 مليون هكتار في العالم.
- أُجريت معظم الدراسات الحيوانية باستعمال محاصيل معدلة جينياً من الجيل الأول (مع سمات مُدخلة (Input Traits)).
- لم تُسجَل أيُّ تأثيرات غير مقصودة في تركيب أو تلوث (باستثناء ذيفان فطري قليل) في التقييمات الغذائية لأعلاف من نباتات معدلة جينياً من الجيل الأول في أكثر من 100 دراسة على حيوانات منتجة للغذاء.
- يُوصى بتصاميم تجريبية أخرى لتقدير أمان أعلاف النباتات المعدلة جينياً من الجيل الثاني (مع سمات مُخرجة (Output Traits)) ومحتواها الغذائي.
- لم يُبدِ الدنا والبروتين المعدل جينياً خواص أخرى بوصفها دنا نبات أو بروتين أصلي أثناء معالجة العلف، أو في الحيوانات.
- يبدو أن ثمة حاجة إلى دراسات حالة متعددة للإجابة عن الأسئلة التي لا توجد أجوبة لها، ويجب أن تشمل تلك الدراسات على المجموعات المشابهة جينياً أو الشديدة الشبه.
- يجب استعمال دراسات علف الحيوانات المنتجة للغذاء في تقدير الأمان أيضاً.

تقديم

ستكون في المستقبل منافسة قوية على الأرض الزراعية بين مجالات الغذاء والأعلاف والوقود والألياف والإسكان والمحميات الطبيعية. ووفقاً لإحصائيات منظمة الفاو فإن عدد سكان العالم سوف يزداد من القيمة الحالية التي تساوي نحو 6.5 مليار نسمة [2006] إلى 9 مليارات نسمة (بزيادة قدرها 40%) في عام 2050 (Steinfeld et al., 2006)، في حين أن الحاجة المقدّرة للحوم والحليب سوف تتضاعف تقريباً خلال هذه المدة (الجدول 1). وسبب هذا التطور هو الطلب المتزايد للغذاء الحيواني المنشأ مع تزايد الدخل في كثير من البلدان (Keyzer et al., 2005)، فاستهلاك اللحوم والسّمك والحليب والبيض يُسهم في تلبية احتياجات الناس من الحموض الأمينية وكثير من المغذيات الضئيلة المقدار. يُضاف إلى ذلك أن

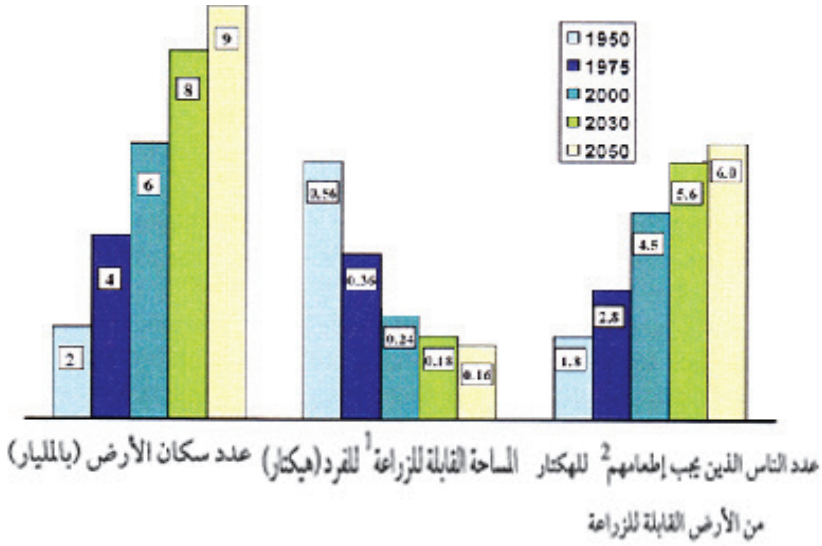
الغذاء الحيواني المنشأ ينطوي على كثير من اللذة ويُعتبر مؤشراً إلى مستوى المعيشة. ويستهلك إنتاج الغذاء ذي المنشأ الحيواني مقادير كبيرة من الموارد (Flachowsky 2002)، ويحتاج إلى أراضٍ كثيرة لإنتاج العلف، في حين أن مساحة الأرض القابلة للزراعة للفرد سوف تتناقص (الشكل 1). ويتضمن الجدول 2 مقادير الأعلاف اللازمة لتغذية الحيوانات في العالم (عدا الأسماك) مع مقارنة بالغذاء البشري.

الجدول 1: تحديات الإنتاج الحيواني أو «ظل المواشي الطويل» (Steinfeld et al. 2006).

نسبة عام 2050 إلى الحالية	عام 2050	2006	
138	9.0	6.5	عدد سكان العالم (مليار)
203	465	229	إنتاج اللحوم (مليون طن)
180	1043	580	إنتاج الحليب (مليون طن)

الجدول 2: القيمة التقديرية لاستهلاك المادة الجافة من قبل البشر وحيوانات المزارع.

استهلاك المادة الجافة		العدد (مليار) تقرير الفاو للعام 2006	الجنس
(مليار طن/ السنة)	(كيلو غرام للفرد/ اليوم)		
1.1	0.45	6.5	البشر
4.6	8	1.6	بقرة، جواميس، خيل، جمال (حيوانات كبيرة)
0.7	1	1.8	غنم، ماعز (مجترات صغيرة)
0.35	1	0.95	خنازير
0.45	0.07	18.5	دواجن
6.1			الاستهلاك الكلي (للحيوانات)



(1) 1.5 مليار هكتار تقريباً متوافرة حالياً.
 (2) يزداد العدد عندما تزداد المساحة المستعملة لإنتاج الموارد المتجددة.

الشكل 1: تطور عدد سكان الكرة الأرضية والأرض القابلة للزراعة المتوفرة وعدد الناس الذين يجب إطعامهم للهكتار (من الكتب السنوية لمنظمة الفاو).

وتتطلب زيادة الغذاء والعلف موارد طبيعية كثيرة جداً، وتسبب تلوث البيئة بثاني أكسيد الكربون من الوقود الأحفوري، وبالميثان (CH_4) من التخمر غير الهوائي للكربوهيدرات، وبمركبات النتروجين (NH_3 , N_2O) من استقلاب البروتينات. وإضافة إلى محدودية الموارد، فإن تقليص انبعاثات غازات الدفيئة في إنتاج العلف والغذاء تمثل هدفاً مهماً جداً للزراعة المستدامة (Flachowsky and Brade 2007).

وإضافة إلى التنافس على استعمال الأرض بين إنتاج الغذاء النباتي للاستهلاك البشري وإنتاج العلف اللازم للإنتاج الحيواني، ثمة استعمال متزايد للأرض من أجل إنتاج الوقود والطاقة الحيوية لمواجهة التحديات الناجمة عن الاحترار الكوكبي، وللإسكان والمحميات الطبيعية. ومن الاستراتيجيات الممكنة لتجاوز هذه الحالة:

- متابعة الاستثمار في زيادة المردود والأداء الحيواني باستعمال التكنولوجيا الحيوية العادية والمبتكرة.

- زيادة كفاءة استعمال الموارد المحدودة (الأرض، والماء، والسماد، والوقود... إلخ) وتقليل التلوث.

- تقليص الاستهلاك البشري للبروتين الحيواني عن المستوى المفرط الحالي.
 - إن استئصال النباتات وتربيتها سوف تكونان نقطتا البداية في أمان العلف والغذاء خلال الأعوام القادمة. وتمثل الجوانب المذكورة آنفا تحديات حقيقية للمزارعين في جميع أنحاء العالم، ويمكن تلخيص أكثر أهداف أهمية الآتي (Flachowsky 2008) (and Dänicke 2005):
 - مردود عالٍ مع متطلبات أقل من الماء والسماد والوقود والمبيدات وغيرها.
 - تراكيز منخفضة للمواد السامة، ومنها المواد الثانوية والذيفانات الفطرية والسموم الناجمة عن الأنشطة البشرية أو تفاعلات التربة.
 - تراكيز منخفضة للمواد التي تؤثر في استعمال المغذيات ووفرته، ومنها الليغنين (الخشبيين) (Lignin)، والفيتات (ملح الفيتيك) (Phytate)، ومثبطات الإنزيمات والتانن (Tannin) وغيرها.
 - تراكيز عالية للقيمة الغذائية في العلف، وتحديدًا مكونات مثل المغذيات والإنزيمات والزيوت الأساسية وغيرها.
- ومن المنظور العام لأمن العلف والغذاء، تحتل الأصناف ذات الاحتياجات القليلة من الماء والسماد والمبيدات الأولوية الأولى. يُضاف إلى ذلك أنه لا يمكن إزالة المواد غير المرغوب فيها من مادة العلف، أو تحتاج إزالتها إلى جهود كبيرة (Flachowsky, 2006). لذا يُعتبر تقليص المواد غير المرغوب فيها في العلف هدفاً هاماً لاستئصال النباتات. ومن منظور تغذية الحيوانات، يُعتبر هذا الهدف ذا أهمية قصوى من حيث تحسين الأعلاف. ويمكن لزيادة المغذيات الأساسية (أي الحموض الأمينية والفيتامينات والعناصر الضئيلة الأثر وغيرها) أن تكون مفضلة جداً في بعض مناطق العالم بغية تلبية متطلبات الإنسان والحيوان من المغذيات الضئيلة الأثر، إلا أنها ليست مهمة جداً في المناطق الأوروبية بسبب توافر محسّنات طعام متنوعة في السوق.

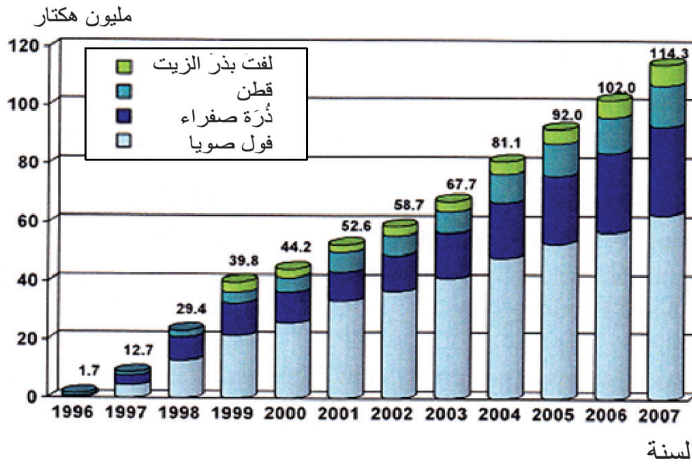
من الممكن تحقيق الأهداف المذكورة آنفاً باتّباع طرائق الزراعة المعتادة. لكن

طرائق التكنولوجيا الحيوية يمكن أن تكون أمرن وأقوى وأسرع في المستقبل. وحالياً، نحن في طور البداية من تلك التكنولوجيا. لذا يبدو أن الهندسة الجينية للنباتات تنطوي على إمكانات كثيرة للإسهام في حل المشكلات العالمية. طبعاً، تحتاج هذه التكنولوجيا إلى مزيد من التحسين، وإلى مزيد من القبول الشعبي لها. وفي هذه المقالة، سوف نحلل المرحلة الحالية من تقييم المغذيات في الأعلاف المعدلة جينياً وتحدياتها المستقبلية.

الحالة الراهنة لزراعة النباتات المعدلة جينياً وأسئلة موجهة إلى المختصين بتغذية الحيوانات

ازدادت مساحات زراعة النباتات المعدلة جينياً في العالم من 1.7 مليون هكتار في عام 1996 إلى نحو 114 مليون هكتار في عام 2007 (James, 2007). وحالياً، تُعتبر محاصيل أهم المحاصيل المعدلة جينياً فول الصويا (بنسبة 60٪) والذرة (بنسبة 24٪)، والقطن (بنسبة 11٪)، ولفت بذر الزيت (بنسبة 5٪) من مساحة زراعة النباتات المعدلة جينياً الكلية (الشكل 2).

وقد جرى تعديل تلك المحاصيل من أجل سمات زراعية بالدرجة الأولى. تتميز تلك النباتات بما يسمى سمات مُدخلة (نباتات معدلة جينياً من الجيل الأول) من دون تغيير كبير في التركيب أو القيمة الغذائية (الجدول 3).



الشكل 2: المساحات الكلية المزروعة بمحاصيل معدلة جينياً (ISAAA 2007).

وتحتوي النباتات المعدلة جينياً من الجيل الثاني (ذات السمات المُخرَجة) على كثير من المغذّيات (حموض أمينية، حموض دهنية، فيتامينات، إنزيمات وغيرها، على سبيل المثال)، وعلى قليل من المواد المضادة للتغذية (مثبطات، محسّسات وغيرها مثلاً). وتُعتبر النباتات المعدلة جينياً من الجيل الأول مكافئاً كبيراً لنظيراتها غير المعدلة جينياً. ويتضمّن الجدول 4 تعريف التكافؤ الأساسي (Substantial Equivalence) وبعض المشكلات المقترنة بهذا التعريف مع مقترحات للمستقبل.

الجدول 3: المشهد الغذائي للنباتات المعدلة جينياً – تعاريف.

نباتات معدلة جينياً من الجيل الأول

- نباتات ذات سمات زراعية تقنية (سمات مُدخلة).
- من دون تغيير كبير في التركيب والقيمة الغذائية.
- مكافئات أساسية.
- أمثلة: نباتات العسوية الثورنجية (Bt plant) (ذرة، قطن)، نباتات مقاومة للغليفوسات (RR) (Roundup Ready) plants (فول صويا)، نباتات PAT plants (ذرة، جذور)... إلخ.

نباتات معدلة جينياً من الجيل الثاني

- نباتات ذات سمات مُخرَجة
- مع تغييرات هائلة في التركيب والقيمة الغذائية
- لا توجد مكافئات أساسية
- أمثلة: الرز الذهبي، ذرة منخفضة الفيات، تغيّرات في أنماط الأحماض الدهنية والأمينية... إلخ.

الجدول 4: التكافؤ الأساسي - إلى أين؟

ينطوي التكافؤ الأساسي على مفهوم أنه إذا وُجد أن غذاءً أو علفاً جديداً مكافئاً من حيث الجوهر لغذاء أو علف موجود، أمكنت معاملته بنفس طريقة معاملة نظيره العادي.

المشكلات

- إطار عمل خشن للتقييم: لا يوجد تقدير للأمان والقيمة الغذائية.
- ماذا يعني النظر العادي (نباتات مماثلة جينياً أم نبات محلي عادي).
- غير معقول إذا حصلت تغيرات في التركيب (مثلاً محتوى أخفض من الذيفان الفطري، نباتات معدلة جينياً من الجيل الثاني).

مقترحات

- يجب الأخذ في الحسبان لجوانب مختلفة من التكافؤ الأساسي، منها:
 - التكافؤ الكيميائي التحليلي.
 - التكافؤ الغذائي.
 - تكافؤ الأمان الصحي.
 - تكافؤ مفاعيل التعرض للمادة.

ويمكن استعمال النباتات المعدلة جينياً على نطاق واسع في تغذية الحيوانات:
- نباتات خضراء أو نواتجها أو أجزاء منها (علف أخضر، أو حبوب، أو جذور، أو أو درن... إلخ).
- منتجات معدلة جينياً محفوظة (علف أخضر محفوظ، تبن).

- منتجات زراعية ثانوية وبقايا نباتات إنتاج الوقود والغذاء التي تنتج من معالجة النباتات المعدلة جينياً (قش، بقايا الطحن، بقايا نشوية، زيت، بقايا صناعة السكر والتخمير، بقايا إنتاج الطاقة الحيوية ومنها ذوابات حبيبات التقطير المجففة).

واستناداً إلى الحالة الراهنة لمغذيات الحيوانات تُطرح أسئلة عن الجوانب الآتية:

➤ تقدير القيمة الغذائية للأغذية والأعلاف المعدلة جينياً من الجيل الأول وأمانها.

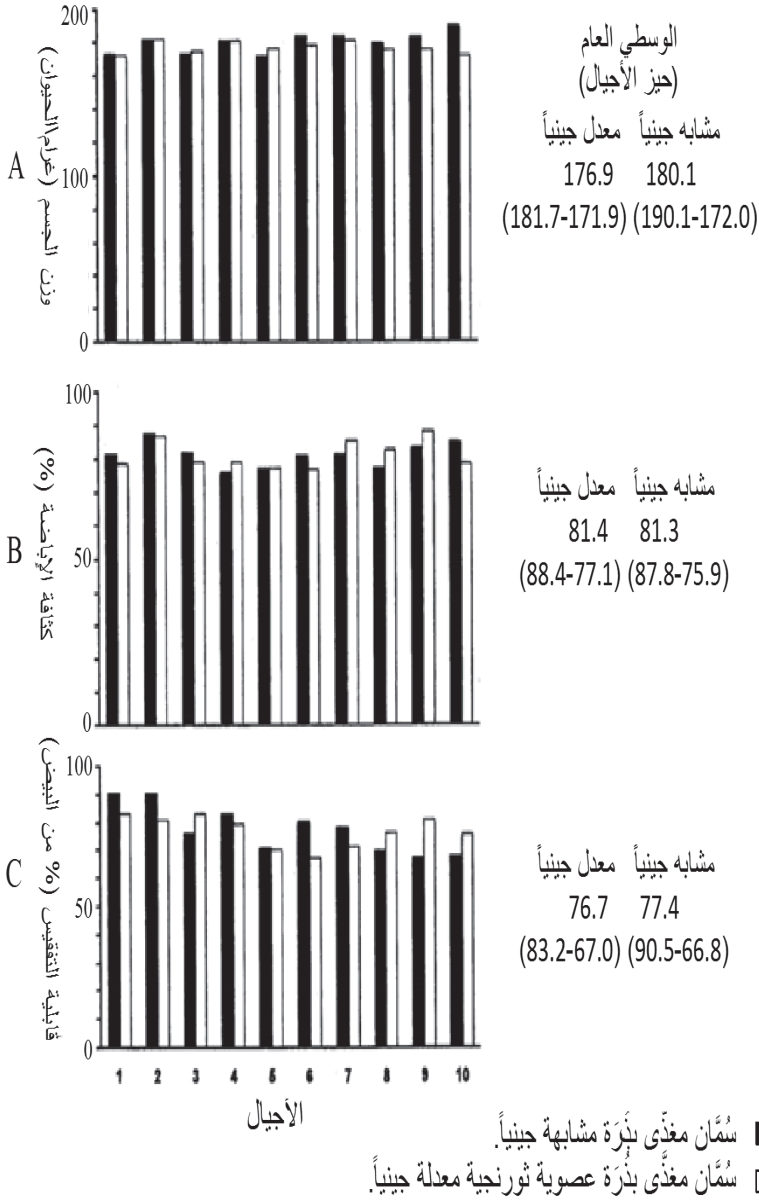
➤ تقدير القيمة الغذائية للأغذية والأعلاف المعدلة جينياً من الجيل الثاني وأمانها.

- تأثير العلف المعدل جينياً في صحة الحيوان وجودة الغذاء ذي المنشأ الحيواني.
- دراسات عن تدني البروتينات الجديدة والدنا الغريب (Foreign DNA)، والتأثيرات غير المقصودة وغيرها.

دراسات على أعلاف النباتات المعدلة جينياً ذات السمات المدخلة (الجيل الأول)

يُزرع معظم أراضي النباتات المعدلة جينياً بنباتات من الجيل الأول. وقد قدّم كثير من الهيئات العلمية ومؤتمرات الخبراء إرشاداتٍ عن تقدير القيمة الغذائية لأعلاف الجيل الأول وأمانها (مثلاً: 2003 ILSI, 2006 EFSA). واستناداً إلى تلك التوصيات، أُجريت دراسات غذائية على أعلاف الجيل الأول من النباتات المعدلة جينياً في مختلف أنحاء العالم. ومنذ عام 1997، أُجريت 16 دراسة في معهد تغذية الحيوانات في براونشفيغ ((Braunschweig) مدينة في وسط ألمانيا) بغية تحديد تأثير أعلاف الجيل الأول من النباتات المعدلة جينياً في تربية البقر الحلوب والعجول والخنازير والدجاج البياض والفراريج وطير السّمان. وقد لخص فلاشوسكي وآخرون (2007, Flachowsky et al.) هذا البحث في الآونة الأخيرة. وكانت غالبية الأعلاف التي اختُبرت في الدراسة (ذرة العسوية الثورنجية، وذرة بات، وشوندر بات) قد زُرعت في ظروف تشابه ظروف نظيراتها المشابهة لها جينياً في حقول تجارب المعهد (الجدول 5). وحلّل تركيب الأعلاف واستعملت دراسات الحيوانات لتقييم جودة المغذيات، ومن ضمنها موسطات مثل قابلية الهضم واستهلاك العلف وصحة وأداء جنس الحيوان المختبر والتأثيرات في جودة الأغذية المشتقة من الحيوانات. وجرى النظر أيضاً في التكاثر في دراسات أجيال طيور السّمان (الشكل 3) والدجاج البياض (4 أجيال).

ولم تكشف التحليلات الكيميائية ودراسات الحيوانات عن فوارق بين الأعلاف المعدلة جينياً ونظيراتها المشابهة لها جينياً (المدرجة في الجدول 5)، ولذا فإنها تدعم بقوة مكافئتها الأساسية. وتتفق نتائجنا مع نتائج أكثر من 100 دراسة نُشرت أو جرت مراجعتها في الآونة الأخيرة (2005 a, 2007, Flachowsky et al.) (الجدول 6).



الشكل 3: (A) وزن جسم أنثى السُّمان (العمر: 6 أسابيع)، (B) كثافة إباضة السُّمان و(C) نسبة تفقيس فراخه في تجربة غطت 10 أجيال.

الجدول 5: ملخص دراسات أجريت على أعلاف معدلة جينياً من الجيل الأول قام بها معهد مغذيات النباتات Animal Nutrition (Institute of Nutrition)

		النتائج (مقارنة مع النبات غير المعدل)								
النبات المعدل جينياً	قياسات تحليلية	جناس و فئات الحيوانات	نوع الدراسة	عدد الحيوانات (م.م)	المدة (يوم)	المعدل تركيب العلف جينياً	قابلية الهضم	موسطات تربية الحيوان	قياسات أخرى	المرجع
جبوب ذرة BT	مغذّ خام، حموض أمينية، حموض دهنية، معادن، سكر يذلت غير نشوية	تربية وتسمين خنازير	قابلية الهضم	36\6 مرات	14	غ.هـ.	غ.هـ.	-	بيانات الذبح مصير الدنا -	Reuter et al., 2002a
										تربية وتسمين خنازير
		تربية خنازير	تربية وتسمين خنازير	ق	5\5	14	غ.هـ.	غ.هـ.	-	Aulrich et al., 2001
		مغذّ خام، نشاء		قابلية	6\6	10	غ.هـ.	غ.هـ.		

	ذيفانات فطرية معدّ خام معدّ خام، نشاء، سكر يدلت غير نشوية، حموض أمينية، حموض دهنية، معادن	سكر يدلت غير نشوية، حموض أمينية، حموض دهنية، معادن	قابلية الطضم	الطضم وقياس الأداء	6\6 9\27 5 35	غ.هـ. - غ.هـ. -	- مصير الدنا - -	
	معدّ خام معدّ خام معدّ خام، نشاء، حموض أمينية، حموض	بياض فروج فروج تربية سمّان	قابلية الطضم تربية أجيال 10 (تربية، بيض)	140\140 32\32 200\200 32\32	10 مرات 42 42 4 مرات 126، 91	غ.هـ. - - - - -	مصير الدنا تكاثر، مصير الدنا تكاثر	Aulrich et al. 2001 Aulrich et al. 2001 Tony et al. 2003

	دهنية، مغذٍّ خام، نشاء، حموض أمينية، حموض دهنية،	دجاج وسَّان بياض تربية دجاج ودجاج بياض	أجيال 4 (تربية، بيض)	عدد الحيوانات (م.غ.م)	20\20	246	غ.هـ.	المعدل الغليظ جينيًّا	قابلية الهضم	موسطات تربية الحيوان	قياسات أخرى	Halle 2004 et al. Flachowsty 2005b Halle et al. 2006
النبات المعدل جينيًّا	قياسات تحليلية	أجناس وفئات الحيوانات	نوع الدراسة	عدد الحيوانات (م.غ.م)	20\20	246	غ.هـ.	المعدل الغليظ جينيًّا	قابلية الهضم	موسطات تربية الحيوان	قياسات أخرى	Aulrich et al., 2001
Bt ذرة غير مجففة مخزنة	مغذٍّ خام مغذٍّ خام	تربية وتسمين عجول غنم	تربية وتسمين	عدد الحيوانات (م.غ.م)	4\4	24	غ.هـ.	المعدل الغليظ جينيًّا	قابلية الهضم	موسطات تربية الحيوان	بيانات الذبح مصير الدنا -	Aulrich et al., 2001
بطاطا Bt	مغذٍّ خام	فروج	تربية	عدد الحيوانات (م.غ.م)	9\18	21	غ.هـ.	المعدل الغليظ جينيًّا	قابلية الهضم	موسطات تربية الحيوان	مصير الدنا	Halle et al., 2005

ذرة PAT	مغذ خام، نشاء، سكر، سكريدات لانثوية، حموض امينية، حموض دهنية	خنازير	قابلية الهضم	5\5	14	غ.هـ.	غ.هـ.	-	-	Böhme et al., 2001
شوندر PAT جدور	مغذ خام، سكر مغذ خام، سكر مغذ خام	غنم خنازير غنم	قابلية الهضم قابلية الهضم قابلية الهضم	4\4 5\5 4\4	24 14 24	غ.هـ. غ.هـ. غ.هـ.	غ.هـ. غ.هـ. غ.هـ.	- - -	- - -	Böhme et al., 2001 Böhme et al., 2001 Böhme et al., 2001
فول صويا RR	مغذ خام، نشاء، حموض امينية، حموض دهنية، معادن	خنازير	تربية وتسمين	12\36	40	غ.هـ.	غ.هـ.	-	بيانات الذبح مصير الدنا	Aulrich et al., 2001

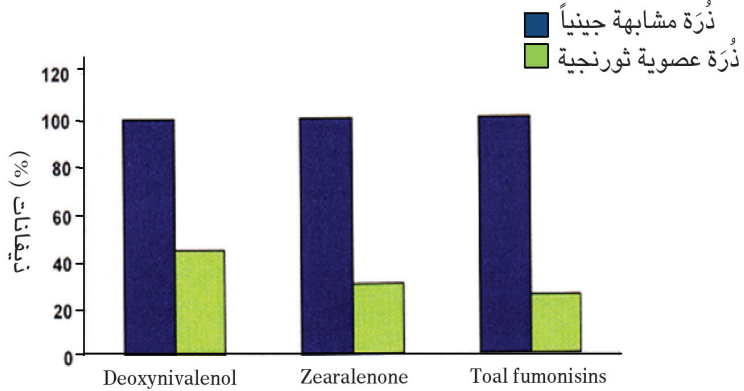
غ.م. : غير معدل جينياً. غ.هـ.: غير هام. RR، PAT، Bt، أنواع التعديل الجيني.

الجدول 6: ملخص بيانات منشورة لمقارنة أعلاف من نباتات معدلة جينياً من الجيل الأول (ذات سمات مُدخلة) مع نظيراتها المشابهة لها جينياً.

الحيوان (الجنس/الفئة)	عدد التجارب	تقييم المغذيات
مجترات		لا توجد تأثيرات غير مقصودة في التركيب أو الملوثات (باستثناء تراكيز منخفضة من الزيغان الفطري في بطاطا العسوية الثورنجية).
بقر حلوب	23	
بقر لحوم	14	
أخريات	10	
خنازير	21	ليست ثمة تأثيرات حيوية ذات أهمية في قابلية الهضم وصحة الحيوان، ولا توجد تأثيرات غير مقصودة في أداء الحيوانات وتركيب الغذاء الحيواني المنشأ.
دواجن		
دجاج بيّاض	3	
فراريج	28	
أخريات (سمك، أرانب... إلخ)	8	

وكان معظم التصميم التجريبية في الدراسات السابقة بسيطاً جداً. وقد قارن المؤلفان علماً واحداً فقط (من منشأ معدل جينياً) مع آخر (من نظير مشابه جينياً) وأهملا الحيز الحيوي العادي الذي وُصف وصفاً ممتازاً في وثائق استطلاع أجرته منظمة التعاون والتطوير الاقتصادي (Organization for Economic Cooperation and Development) (OECD 2001a, 2001b, OECD Cooperation and Development) (2002a, 2002b, 2003, 2004a, 2004b, 2004c, 2005) وفي جداول قيمة العلف الغذائية الأخرى. وضمن ظروف زراعية معينة، جرى تبيان أن تلوث بعض المحاصيل المعدلة جينياً بالزيغان الفطري كان أحياناً أقل من ذلك الموجود في العلف غير المعدل جينياً. على سبيل المثال، تُهاجم دُرّة العسوية الثورنجية ويحصل إضعافها على نحو أقل شدة بسوسة الدُرّة، ويمكن أن تتمتع بمقاومة أكبر للعدوى الحقلية، خاصة فطر المغزلاوية (Fusarium) الذي يُنتج ذيفانات فطرية. وقد استعرض دليل على تلوث خفيف بذيغان فطري لمحاصيل معدلة جينياً في بعض الحالات، لا جميعها، وفقاً لما لحّصه فلاشوسكي وآخرون (Flachowsky

et al., 2005a). وفي دراسات بعيدة المدى، استقصى العديد من الباحثين تأثير مستويات عدوى هجائن الذرة المشابهة جينياً وذرّة العسوية الثورنجية بسوسة الذرة في التلوث بالذيفان الفطري. ولاحظ معظم الباحثين مستويات منخفضة من التلوث في الهجائن المعدلة جينياً، برغم الاختلافات الجغرافية والزمنية (الشكل 4). ونشرت خلال بضع السنوات الماضية بعض المراجعات عن تقييم أمان الأعلاف المعدلة جينياً ومحتواها الغذائي (مثلاً: Clark and Ipharraguerre et al., 2001, Flachowsky and Aulrich 2001, Aumaitre et al., 2002, Flachowsky et al., 2005a, 2007, CAST 2007, Alexander et al., 2007). يُضاف إلى ذلك، أن وثائق (ILSI (2004, 2007) و(EFSA 2006, 2008) تلخص أيضاً المستوى الحالي من المعرفة عن علف الحيوانات بنباتات معدلة جينياً من الجيل الأول.



الشكل 4: النسبة المئوية للذيفانات فطرية في ذرة مشابهة جينياً (100%) وفي ذرة العسوية الثورنجية (% من ذرة مشابهة جينياً). المصدر: Bakan et al. 2002, Cahagnier and Melcion 2000, Munkvold et al 1999, Pietri and Piva 2000, Reuter et al. 2002, Valenta et al. 2001.

أعلاف من نباتات معدلة جينياً ذات سمات مُحَرَجَة (الجيل الثاني)

تتميز النباتات المعدلة جينياً من الجيل الثاني بنسبة كبيرة من السمات المرغوب فيها، ومنها:

- مغذيات أولية (مثلاً، كاروتين بيتا (b-carotene)).
- مغذيات (حموض أمينية، حموض دهنية، فيتامينات، معادن... إلخ).

- مواد لتحسين قابلية هضم المغذيات (إنزيمات مثلاً).
 - مواد ذات مفعول إضافي (مثلاً منشطات جراثيم الأمعاء).
 - محسّنات الخواص الحسية والذوقية (زيوت أساسية، عطريات).
- أو بنسبة قليلة من مواد غير مرغوب فيها من مثل:
- المواد المثبطة (الليغنين والفيتات مثلاً)
 - المواد السامة (ومنها أشباه القلويات والغلوكوسينولات (Glucosinolates) والذيفانات).

وحالياً، ثمة إجراءات اختبار مقترحة لدراسة القيمة الغذائية لأعلاف الجيل الثاني من النباتات المعدلة جينياً. وثمة مراجعة لطرائق الاختبار تلك في (Flachowsky and Böhme, 2005). وثمة توصيات لتقييم أمان الأعلاف المعدلة جينياً من الجيل الثاني في (EFSA, 2006, 2008) و (ILSI, 2007).

ويجب أخذ النقاط الآتية في الحسبان حين القيام بتقييم أعلاف نباتات معدلة جينياً من الجيل الثاني. يمكن للأعلاف ذات الخواص الفيزيولوجية المفيدة ذات الصلة بالحموض الأمينية والحموض الدهنية والمعادن والفيتامينات وغيرها من المواد أن تُسهم في امتصاص أكبر للعلف من قبل الحيوان، أو تحويل أفضل للمغذيات الموجودة في العلف إلى غذاء حيواني المنشأ. يُضاف إلى ذلك، أن انبعاث النتروجين يمكن أن ينخفض. لذا، وتبعاً للاختلاف الناجم عن التعديل الجيني، يجب تصميم التجربة بحيث تُري هذه التأثيرات، فتصاميم التجارب النوعية الهادفة ضرورية لبيان مردود المكونات المغذية المغيّرة (انظر الجداول 14-17). ويمكن أن تقترن التعديلات الجينية بآثار جانبية (Cellini et al., 2004, Böhme et al., 2007)، وكلما كانت التعديلات أكبر، كانت التغيرات المتوقعة أكبر. وتبدو الدراسات الحيوانية الخاصة التي تمثل أساس طرائق المقارنة ضرورية لتحري هذه الأسئلة. لذا فإن تقدير أمان الأعلاف المعدلة جينياً من الجيل الثاني وقيمتها الغذائية يمثل تحدياً مهماً لتغذية الحيوانات. والنظائر التجارية المشابهة جينياً (3 على الأقل) يجب أن تعمل بوصفها وسيلة لاستعراض الحيز الطبيعي الذي تُمكن ملاحظته في الدراسات الحيوانية (انظر إسهامات Lucas et al., 2007, Mc Naughton et al., 2007).

مصير دنا التعديل الجيني وبروتين التعديل الجيني

في حيوانات إنتاج الغذاء

إن الناس مهتمون بإمكان إدخال التعديل الجيني في نسيج الحيوان أو منتجاته، مثل البيض والحليب، خاصة من ناحية مصير البروتين والدَّنا التركيبيين في أمعاء المواشي. لذا أُجري كثير من الدراسات للإجابة عن هذه الأسئلة. ومن الواضح أن استهلاك العلف المعدل جينياً يؤدي إلى ابتلاع الدَّنا والبروتينات المعدلة جينياً، ولذا أُجري العديد من الدراسات لتعقب مصيرها حين المرور عبر أمعاء الحيوان، ومدى دخول الجينات المعدلة ومنتجاتها نسيج الحيوان (Flachowsky et al., 2005a). وقد قام ألكسندر وآخرون (Alexander et al., 2007) وإينسبانير وفلاشوسكي (Einspanier and Flachowsky, 2008) أخيراً بمراجعات دراسات في هذا المجال.

مصير دنا التعديل الجيني

يعتمد مقدار الدَّنا المعدل جينياً الذي يدخل جسم الحيوان على تركيز الجينات المعدلة في العلف، وعلى مقدار العلف الذي يتناوله الحيوان. وتقل كمية الدَّنا في المادة الجافة لمعظم المحاصيل عن 0.2 g/kg (Beever and Kemp, 2000). أما تراكيز الجينات المعدلة فهي أقل من ذلك بكثير (Beever and Phipps 2001, van den Eede et al., 2002). وقد يكون ما تتناوله المجترات من الدَّنا المعدل جينياً أقل من ذلك لأن خزن النباتات الخضراء المعدلة جينياً يؤدي سريعاً إلى تفكك شظايا دنيات (DNAs) النبات الكبيرة (الجدول 7) (Hupfer et al., 1999, Aulrich et al., 2004).

وقد تفككت شظايا دنا طويلة فعلاً (أكبر من 1000 زوج قاعدي Base Pair) بعد 28 يوماً من الخزن (انظر الجدول 7). وفي حين أنه ليس للطحن من تأثير في مقاس شظية الدَّنا، وأن تأثير الحرارة قليل فيه، فقد جرى تبيان أن عينات العلف المعالجة يمكن أن تحتوي على شظايا دنا قصيرة فقط (الجدول 8).

الجدول 7: تأثير مدة الحزن في شطايا الدّنا الموجودة في مخزونات من مزيج معدل جينياً من عرائس دُرّة مفتتة، وفي نبات دُرّة أخضر كامل (Aulrich et al., 2004).

شظية ذات 194 زوج قاعدي		شظية ذات 680 زوج قاعدي		شظية ذات 1016 زوج قاعدي		مدة الحزن (يوم)
نبات كامل	عرائس مفتتة	نبات كامل	عرائس مفتتة	نبات كامل	عرائس مفتتة	
+	+	+	+	+	+	0
+	+	+	+	+	+	2
+	+	+	+	+	+	5
+	+	+	+	+	-	7
+	+	+	+	+	-	14
+	+	+	+	+	-	21
+	+	+	-	+	-	28
+	+	+	-	-	-	35
+	+	-	-	-	-	70
+	+	-	-	-	-	100
+	+	-	-	-	-	200

الجدول 8: معالجة بذور لفت بذر الزيت لاستخراج الزيت وشطايا الدّنا الموجودة

في المنتجات النهائية ذات البذور المشابهة جينياً (i) والمعدلة جينياً (t) (Berger et al., 2003).

رقم المعالجة	1	2	3	4
المعالجة	سحق	سحق	سحق	سحق
	-	-	تكييف (96°C) ، 20 دقيقة	تكييف (103°C) ، 111°C - (30 دقيقة)
	معالجة (96 °C)	معالجة (95 °C)	معالجة (95 °C)	معالجة (95 °C)
	-	استخراج	استخراج	استخراج
	-	شطف المذيب وشوي (105 °C)	شطف المذيب وشوي (105 °C)	شطف المذيب وشوي (105 °C)
منتج لفت بذر الزيت النهائي				
شظايا الذنا الموجودة (زوج قاعدي)				
21000 (دنا سليم)	i t	- -	- -	- -
248 زوج قاعدي	i	+	+	-

-	-	-	+	i	970 زوج قاعدي
-	-	+	+	t	194 زوج قاعدي
-	-	-	+	t	680 زوج قاعدي
-	-	-	+	t	1003 زوج قاعدي

+ : اكتشف، - : لم يُكتشف.

وثمة دراسات كثيرة للمجترات والخننازير والدواجن (أكثر من 30 دراسة منشورة) حلل فيها مؤلّفوها مصير الدّنا في أمعاء وجسم الحيوان ولخصها ألكسندر وآخرون (Alexander et al., 2007) في الآونة الأخيرة. وأجرينا بعض دراساتنا على مدى دورة تربية وتسمين كاملة وعلى مدى حياة كاملة للحيوان (انظر الجدول 9) (Einspanier et al., 2001, Reuter and Aulrich, 2003). ولم يكتشف معظم المؤلّفين شظايا دنا معدل جينياً في نسيج الحيوان (Alexander et al., 2005a, Flachowsky et al., 2007). ولم تؤدّ جيتتان معدلتان (مقاومتان لمبيدات الأعشاب الطفيلية) في نبات الدُّرّة الأخضر المخزون إلى ظهور دنا معدل جينياً في حليب البقر (Calsamiglia et al., 2007). إلا أن ثمة بضع دراسات كُشفت فيها شظايا دنا معدل جينياً. فقد قام شارما وآخرون (Sharma et al., 2006) بإطعام 11 خروفاً و36 خنزيراً معدّين للذبح لفت بذر زيت مقاوم للغليفوسات. واكتُشفت بعض شظايا الدّنا المعدل جينياً في نسيج أمعاء الخراف، لكن ليس في نسيج أحشائها (الكبد والكلية) أو في طحال الخنزير. ومع ذلك، فقد أظهرت عينة من كبد خنزير وأخرى من كلية آخر نتج إيجابية لشظية 278 زوج قاعدي من الـ cp 4 epsps (5-enolpyruvyl-shikimate-3-phosphate synthase (strain CP4)). وقام مازا وآخرون (Mazza et al., 2005) بإطعام 8 خنازير صغيرة علفاً يحتوي على 50% من ذرّة مشابهة جينياً أو معدلة جينياً (MON 810) مدة 35 يوماً.

الجدول 9: دراسات معهد تغذية الحيوان عن انتقال شظايا الدّنا في الحيوانات المنتجة للغذاء.

التتائج				
مراجع	كشف دّنا غريب غير معدل جينياً	كشف دّنا معدل جينياً	أجناس الحيوانات	مصدر الدّنا
Einspanier et al. (2001)	شظايا دّنا النبات في عضلات وكبد وطحال وكليتي الفروج والدجاج البيّاض. غير موجودة في دم وعضلات وكبد وطحال وكليتي العجول وبيض وبراز الفراريج والدجاج البيّاض وروث البقر الحلوب	لا يوجد دنا معدل في نسيج الحيوان	فراريج دجاج بيّاض عجول لحوم بقر حلوب	حبوب ونبات أخضر كامل من دُرّة عسوية ثورنجية
Reuter and Alrich (2003)	شظايا دّنا النبات في الجهاز الهضمي والدم والأعضاء والنسيج	شظايا دّنا معدل حتى 48 ساعة في المستقيم. غير موجود في الدم والأعضاء والنسيج	خنازير	حبوب دُرّة عسوية ثورنجية
Tolly et al. (2003)	شظايا دّنا النبات في الجهاز الهضمي والدم والأعضاء والنسيج	دّنا معدل في الجهاز الهضمي. غير موجود في الدم والأعضاء والنسيج	دواجن	حبوب دُرّة عسوية ثورنجية

Flachowsky et al. (2005)	شظايا دَنَا النبات في الجهاز الهضمي	شظايا دَنَا معدل (211 زوج قاعدتي) في المعدة والجهاز الهضمي. غير موجود في العضلات والكبد والمعدة والطحال والكلية والقلب والبيض	طيور سَمَان (10 أجيال)	حبوب دُرَّة عصوية ثورنجية
El Sonhoty (2004)	شظايا نبات معدل في العضلات والكبد والكلية والطحال حتى 8 ساعات بعد العَلْف	لا يوجد دَنَا معدل في العضلات والكبد والكلية والطحال	فراريج	بطاطا عصوية ثورنجية
Aulrich et al., (2002)	شظايا دَنَا النبات في الجهاز الهضمي	لا يوجد دَنَا معدل في العضلات والكبد والكلية والطحال	خنازير	فول صويا يتحمَّل الغليفسات
Broll et al. (2005)	شظايا دَنَا النبات في الجهاز الهضمي. لا توجد في نسيج الحيوان	شظايا دَنَا معدل (104 زوج قاعدتي) في المعدة. لا توجد شظايا دَنَا معدل في نسيج الحيوان	خنازير	علف أخضر مخزون من الإينولين والبطاطا

وجرى استقصاء وجود دنا النبات في دم وطحال وكبد وكلية ونسيج عضلات جميع الحيوانات. وأمكن كشف شظايا جينات ذرة (من النوع Zein, Sh-2) بتكرارات مختلفة في جميع الأنسجة المستقصاة باستثناء العضلات. ووجدت شظية صغيرة من الجين المعدل Cry 1A(b) (519 زوج قاعدي) في الدم (بنسبة 30%) والطحال (بنسبة 10%) والكبد (بنسبة 14%) والكلية (بنسبة 9% من العينات المختبرة) (Mazza et al., 2005). ولم تُكتشف الجينة السليمة Cry 1A(b) (3500 زوج قاعدي) أو وحدتها الوظيفية الصغرى (1800 زوج قاعدي) أبداً. ويتفق جميع المؤلفين (مثلاً) وحدثها الوظيفية الصغرى (1800 زوج قاعدي) (Alexander et al., 2007, Mazza et al., 2005, Sharma et al., 2006) على أن الدنا المأشوب يُعالج في الأحشاء بنفس الطريقة التي تُعالج بها المادة الجينية العلفية داخلياً. وتشير النتائج إلى أن انتقال شظايا الدنا يمكن أن يحصل مستقلاً عن مصدر ونوع الجينة. واستنتج المؤلفون أن من غير المرجح أن يحصل الانتقال الجيني المقترن بنبات معدل جينياً على نحو أكبر من حالة النباتات العادية.

وأثار وجود جينات واسمة مقاومة للمضادات الحيوية، أي المضادة للمضادات الحيوية ذات الصلة بالبنيسيلين والسيفالوسبورين، في الجيل الأول من المحاصيل المعدلة جينياً قلقاً من أن هذه الجينات يمكن أن تنتقل إلى الجراثيم المُمرضة جاعلة إياها مقاومة لبعض المضادات الحيوية. أما احتمال تحوّل المتعضيات المكروية المعوية الموجودة في علف مشتق من محاصيل معدلة جينياً فيبدو منخفضاً جداً، إلا أنه يبقى مثيراً للقلق على سلامة وأمان تلك التراكيب. وقد أدى هذا القلق الفعلي المسلّم به إلى تجنب الجينات المقاومة للمضادات الحيوية في الجيل الثاني من النباتات المعدلة جينياً. إلا أن تقريراً نُشر حديثاً (Demaneche et al., 2008) وثق بوضوح أن الانتقال الجيني الأفقي للجينات المقاومة للمضادات الحيوية الموجود في بعض المحاصيل المعدلة جينياً (مثلاً العصوية الثورنجية 176) ذو احتمال منخفض جداً.

ويمكن تلخيص نتائج مصير الدنا بالآتي:

- الدنا هو جزء دائم من الغذاء والعلف (التناول اليومي: للبشر 0.1-1 غرام، وللخنازير 0.5-4 غرام، وللبقرة 40-60 غرام).
- يتفكك الدنا غالباً أثناء الحفظ (علف أخضر مخزون) والمعالجة الصناعية، وفي الجهاز الهضمي (بواسطة الإنزيمات وال pH).

- يمكن لشظايا دنا صغيرة أن تمرّ عبر الغشاء المخاطي، وأن تُكشَف في بعض أنسجة الجسم (خاصة في الكريات البيضاء والكبد والطحال).
- اكتُشفت شظايا جينات ذات عدد نسخ (Gene Copy Number) كبير من نباتات في أنسجة الحيوانات بمعدل أكبر من ذلك الذي في حالة جينات عدد النسخ الصغير.
- لم تُكشَف جينات معدلة سليمة، أو وحدات وظيفية صغرى منها، في أنسجة الحيوان.
- لا توجد بيانات تُري أن الدنا المعدل جينياً يتميّز بسلوك فريد مقارنة بدنا النبات الأصلي أثناء معالجة العلف وفي الحيوانات.
- وفقاً لمستوى المعرفة الراهنة، لا ضرورة لإدراج مصير الدنا المعدل في النباتات المعدلة جينياً المسجلة الحالية ضمن تقييم أمان العلف.

مصير البروتينات الجديدة

وضعت عدة هيئات توصيات بخصوص مخاطر الحساسية (Allergy) من البروتينات الجديدة التي تظهر في نبات معدّل جينياً قبل الموافقة على تسويقه (FAO/WHO, 2000; Martens, 2000; Konig et al., 2004). ومن تلك التوصيات عادة المقارنة بين تجانس سلسلة الحموض الأمينية للبروتين الجديد، وبين مسببات الحساسية وهضمه المعروفين، وذلك في محاكاة البيئة المعدية. ففي حين أن تفاعلات الحساسية تمثّل مصدر قلق للبشر بالدرجة الأولى من استهلاك الغذاء المعدل جينياً، فقد أُثبت أن بعض بروتينات فول الصويا تسبّب ردود أفعال لسبب الحساسية في مواليد البقر والخنازير (Van Dijk et al., 1988). وإلى جانب مسببات الحساسية، من المعتاد تسخين بعض مواد الأعلاف لمنع تأثيرات البروتينات المعيقة للتغذية، وهذا هو سبب شي فول الصويا الذي يحتوي على مثبطات التريسين (Trypsin) ولاصقات الكريات الحمراء المسببة للجلطة.

واستحوذت البروتينات الجديدة (المعدلة جينياً) في علف النباتات المعدلة جينياً التي تتناولها الحيوانات على الاهتمام نتيجة لقلق المستهلكين. فقد كتب هموند (Hammond, 2008) في الآونة الأخيرة مراجعة شاملة عن أمان بروتينات

التكنولوجيا الحيوية الزراعية. وحلّل سيل وإنغلس (Seale and English, 2008) نمط عمل سموم البروتينات الجرثومية، واستنتج أن قطع دورة الحياة في أي مرحلة يمكن أن يجعل البروتين غير سام. على سبيل المثال، أُثبت أن سموم مبيدات الحشرات المشتقة من العصوية الروثنجية تتفكك بسرعة بسائل معدي مقلد في دراسات في أنابيب الاختبار (Astwood et al., 1996). وتتفكك البروتينات المعدلة جينياً في علف بطاطا العصوية الثورنجية كما تتفكك البروتينات الجرثومية (Federici and Siegel, 2008). وهذا على تناقض مع استقرار سموم العصوية الثورنجية في أحشاء الحشرات حيث يحصل تفعيلٌ حالٌ للبروتين يؤدي إلى تسمم خلايا الحشرة. واختبر بتز وآخرون (Betz et al., 2000) السُّمية الفموية المتكررة بفواصل زمنية قصيرة لبروتينات العصوية الثورنجية. ولم يُلاحظ أي أثر سلبي في دراسات الاستجابة للجرعة (حتى 4000 ملي غرام من بروتين Cry 1Ab للكيلو غرام)، لذا لم يستطع المؤلفون استنتاج أي نوع من انعدام المستويات الملحوظة للتأثير الضار.

ولخصّ هموند وكوكبرن (Hammond and Cockburn, 2008) انعدام وجود مستويات تأثير ضار ملحوظة في دراسات الجرعة العالية الخطرة، وفي دراسات العلف ببروتينات مختلفة أُدخلت في محاصيل أُنتجت بالتكنولوجيا الحيوية الزراعية. وتؤكد تلك الدراسات انعدام السُّمية الفموية حتى عندما أُعطي مستحضر البروتين بجرعات كبيرة جداً. يعتمد مقدار البروتين المعدل جينياً الذي تتناوله المواشي على تركيز البروتين في العلف، وعلى مقدار العلف الذي يجري تناوله. ويتغيّر تركيز البروتين المعدل جينياً مع أحداث التعديل الجيني ونوع نسيج النبات الذي يظهر فيه (Stave, 2002). ويختلف مستوى البروتينات المُدخلة في بذور محاصيل مشتقة بالتكنولوجيا الحيوية من 0.3 مغ (الـ Cry 1Ab في الذرة، وسوسة الذرة) حتى 850 ميلي غرام للكيلو غرام (cp 4 epsps في القطن، قطن مقاوم للغيفوسات، Hammond and Cockburn 2008).

ويمكن لمعالجة العلف بعد الحصاد أن تعيّر (وعلى الأرجح أن تزيد) من تراكيز البروتينات المعدلة جينياً، (Alexander et al., 2007). لكن كل شيء يؤثر في تركيز البروتين المعدل جينياً في مادة العلف سوف يُعبر أيضاً مقدار ما تتناوله المواشي من البروتينات المعدلة جينياً. وعلى نحو مشابه، يؤثر مقدار تناول العلف، الذي يتغير من حيوان إلى آخر وتبعاً لخلطة العلف، في مقدار البروتين المتناول. إذا تناولت بقرة حلوب 10 كيلو غرام من حبوب ذرة MON 810 في اليوم، كان المقدار اليومي

الكلبي لما تتناوله من الـ Cry 1Ab نحو 3.1 ملي غرام $10000 \text{ g} \times 0.31 \mu\text{g/g}$ (Alexander et al., 2007) $\text{fwt} = 3100 \mu\text{g}$ or 3.1 mg) ويعتمد هضم العلف والبروتين على جنس الحيوان أيضاً. لذا، فإن وجود البروتين المعدل جينياً ضمن جهاز الحيوان الهضمي، وربما في منتجات المواشي، يعتمد على عدة عوامل. وقد لخص ألكسندر وآخرون (Alexander et al., 2007) دراسات كثيرة حلل مؤلفوها مصير البروتينات الجديدة في المجترات والخنازير والدواجن. ويمكن تلخيص نتائج تلك الدراسات بالآتي:

- تتفكك بروتينات علف المجترات غالباً في الكرش، وتتفكك البروتينات الجرثومية والبروتينات البطئية التفكك بواسطة إنزيمات في الأمعاء الدقيقة، على غرار غير المجترات.

- اختُبرت الخواص الكيميائية والفيزيولوجية (ومنها التفكك الجرثومي والإنزيمي) للبروتينات الجديدة بكثافة.

- لم تُكتشف بروتينات جديدة سليمة خارج الأمعاء في الحيوانات المختبرة (ولا في أنسجة أو منتجات الحيوان).

- ليس ثمة من دليل على أن البروتينات الجديدة تتميز بخواص كيميائية وفيزيائية غير عادية متميزة عن البروتين الأصلي في الحيوان.

توصيات لتقييم أمان علف النباتات المعدلة جينياً وقيمتها الغذائية للحيوانات المنتجة للغذاء أنواع الدراسات

وضعت الهيئات الدولية خلال السنوات الأخيرة وثائق إرشادات وتوصيات لتقييم الأمان والقيمة الغذائية للأغذية والأعلاف المشتقة من نباتات معدلة جينياً، منها:

ILSI (2003)

تقييم النباتات المعدلة جينياً من الجيل الأول

EFSA (2004)

(سماة مُدخلة)

ILSI (2007)

تقييم النباتات المعدلة جينياً من الجيل الثاني

EFSA (2008)

(سماة مُخرجة)

من وجهة نظر تغذية الحيوانات، يمكننا التمييز بين أنواع مختلفة من دراسات الأعلاف الخاصة بالحيوانات المنتجة للغذاء، منها:

- دراسات خارج الجسم الحي.
- دراسات الاستقلاب (قابلية الهضم، التوفر الحيوي... إلخ).
- دراسات السماح (دراسات تخص الأمان).
- دراسات الفعالية (Efficacy).
- دراسات بعيدة المدى.

ويتضمن الجدول 10 ملخصاً لأغراض أنواع الدراسات المختلفة.

الجدول 10: أغراض الدراسات المختلفة للحيوانات المنتجة للغذاء (الأجناس موضوع الاهتمام).

نوع الدراسة	نوع التعديل الجيني الموصى به	الغرض / القياسات / نقاط النهاية
دراسات خارج الجسم الحي	كل أنواع التعديل الجيني	خواص المغذيات المغيرة، قابلية الهضم خارج الجسم الحي / قابلية تفكك الدنا المعدل والبروتينات الجديدة
دراسات الاستقلاب	تغيرات تراكيز المواد ذات القيمة (مغذيات، موردرات الغذاء) والمواد المعيقة للتغذية (فيتات)	نسبة المغذيات في عينات نموذجية: - مثلاً: فيتامين A وكاروتين بيتاً من الكبد - فوسفور من أنواع منخفضة الفيتات في العظام أو البراز
دراسات السماح	نباتات متعددة التعديلات الجينية	دراسات تخص الأمان، منها المقادير الكبيرة جداً من النبات المعدل جينياً

دراسات الفعالية	أعلاف نباتات معدلة جينياً يمكن أن تؤثر في أداء الحيوان وكفاءة العلف (دراسات حالة مستقلة)	انظر الجدول 11 للاطلاع على معلومات أكثر تفصيلاً
الدراسات البعيدة المدى	دراسات أعلاف من نباتات معدلة جينياً يمكن أن تكون لها تأثيرات طويلة الأجل (التكاثر، دراسات كل حالة على حدة)	انظر الجدول 18 لمزيد من المعلومات

ويُري الجدول 11 بعض توصيات تجارب العلف لاستعراض كفاءة (وأمان) التعديلات الجينية. ويمكن استعمال هذه التصميمات أيضاً لدراسات البعيدة المدى، إلا أن مدة التجربة يجب أن تكون أطول (انظر الجدول 11).

ويلخص الجدول 12 مقترحات لدراسات نباتات معدلة جينياً من الجيلين الأول والثاني. إن أعلاف نباتات الجيل الثاني تتطلب دراسات أكثر مما يتطلبه الجيل الأول، وفقاً لما هو واضح من الجدول 12.

الجدول 11: بعض التوصيات من «أفضل الممارسات للقيام بدراسات حيوانية لتقييم المحاصيل المعدلة جينياً بسهات مُدخلة (نباتات معدلة جينياً من الجيل الأول)»، مقتبسة من ILSI (2003).

الحيوانات (الأجناس والفئات)	عدد الحيوانات (معامل الاختلاف 4%- 5%)	مدة التجربة	تركيب الطعام ¹	قياسات
دواجن لحوم	10-12 حظيرة معالجة، 9-12 طير للحظيرة	5 أسابيع أو أكثر	حمية متوازنة	تناول العلف، زيادة الوزن، تحويل العلف

تناول العلف، إنتاج البيض، تحويل العلف، جودة البيض	حمية متوازنة	18-40 أسبوعاً من العمر، 3 أطوار 28 يوماً على الأقل	12-15 تكراراً للمعالجة، 3-5 دجاجات للحظيرة	دواجن بيض
تناول العلف، زيادة الوزن، تحويل العلف، جودة الذبيحة	حمية متوازنة	خنازير صغيرة 12-7 كيلو غرام)، 4-6 أسابيع خنازير كبيرة 15-25 كيلو غرام)، 6-8 أسابيع	6-9 تكرارات للمعالجة، 4 خنازير أو أكثر كل مرة	خنازير
تناول العلف، زيادة الوزن، تحويل العلف، بيانات الذبائح	حمية متوازنة	120-90 يوم	6-10 تكرارات للمعالجة، 6 بقرات أو أكثر للمرة	مجترات لحوم
تناول العلف، مقدار الحليب وتركيبه، وزن الجسم، حال جسم البقرة، عدد الخلايا في الحليب، صحة الحيوان	حمية متوازنة	مربع لاتيني (Latin :Square) دورة 28 يوماً تصميم كتلة عشوائي	12-16 بقرة للمعالجة، 28 بقرة للمعالجة	بقر حليب ألبان

¹ يجب إجراء دراسات الكفاءة الهادفة إلى تقييم علف النبات المعدل جينياً ذي السمات المخرّجة (من الجيل الثاني) في ضوء التوصيتين (EFSA, 2008) و (ILSI, 2007).

الجدول 12: مقترحات تقييم المحتوى الغذائي في النباتات المعدلة جينياً.

الجيل الثاني	الجيل الأول	
		- تحديد المكونات المهمة
++	+	• مغذيات خام
2++	-	• مغذيات ناجمة عن تعديلات جينية (حموض أمينية، حموض دهنية، فيتامينات، إنزيمات... إلخ)
2++	(+)	• مواد معدلة جينياً مرغوب فيها (مكونات نبات من مثل الخشبين والمثبطات والغلوكوسيدات... إلخ، أو مواد ثانوية من مثل الذيفانات ومبيدات الحشرات... إلخ)
++	(+)	- قابلية الهضم، تحويل، توفر المغذيات المعدلة جينياً في أجناس الحيوانات موضوع الاهتمام
(+)	(+)	- دراسات خارج الجسم الحي لتقييم المغذيات
		- تجارب علف أجناس وفئات الحيوانات موضوع الاهتمام
++	(+)	• أداء الحيوانات وجودة الغذاء الحيواني المنشأ
+	+	• صحة الحيوان - أمان العلف
+	+	• المسار المتبع من قبل البروتين أو الدنا المعدل ¹

- ليس ضرورياً + يُوصى به¹ للأغراض العلمية

(+) يمكن أن يكون مفيداً ++ ضروري² للمكونات المعدلة

تضمين أنواع تجارية

يُمزج العلف الغني بروتين النبات المعدل جينياً عادة في وجبة الإطعام ويقارن بنظيره المشابه جينياً. هنا تجب أيضاً مقارنة تركيب العلف المعدل جينياً بالنباتات المشابهة

جينياً والقيم المعطاة في جداول العلف (OECD 2001a – 2005) من أجل تقييم المجال الحيوي. وتوصي الوثائق الأخيرة (EFSa 2008, ILSI 2004, 2007) بتضمين عدد معين من أنواع تجارية في دراسات العلف لاستعراض الحيز الحيوي للموسطات التي يجري قياسها بغية تقييم الفوارق الهامة إحصائياً من حيث الأهمية الحيوية بين النبات المعدل جينياً ونظيره. لذا فإن معظم الدراسات يجب أن تمتلك جينات تعديل النبات الاختبارية، وأقرب نظير له مشابه جينياً (للمقارنة)، ومن المفضل أن يكون هناك أيضاً أربعة أنواع عادية مرجعية للمساعدة على تفسير أي فوارق غير متوقعة، أو تأكيد أي فوارق متوقعة تُلاحظ بين عينات الاختبار والمقارنة. وقد اتبعت بعض الدراسات أخيراً هذه التوصيات وأدخلت مجموعات إضافية من العلف التجاري. ويمكن اعتبار بعض الدراسات الحديثة (McNaughton et al., 2007, e.g. Lucas et al., 2007) مثلاً للإسهام في حل مسألة الأهمية الإحصائية والعلاقة الحيوية (الجدول 13).

الجدول 13: أداء النمو ونتائج ذبائح منتقاة لفراريج عُلِفَت بعلف المقارنة أو علف معدل جينياً (ذرة DAS-59122-7 تحتوي على الجينتين Cry 35ABI و Cry 34ABI من سلالة العصوية الثورنجية والجينة PAT من ستريتومايسس فيريدوكروموجين (Streptomyces Viridochromogenes))، إضافة إلى مجال التسامح 95% لكل المجموعات (علف المقارنة، علف معدل جينياً و3 هجائن تجارية؛ 60 ذكراً و60 أنثى لكل معالجة، مع 53 و58 و70% من الذرة لفترة التربية الأولية (0-21 يوماً)، وفترة التربية (22-35 يوماً) وفترة التسمين (36-42 يوماً). (McNaughton et al., 2007)

المعيار الضابط	سيطرة علف مقارنة	DAS-59122-7	هجائن تجارية	مجال التسامح
زيادة الوزن الكلية (غرام/ حيوان)	1868	1866	21.0	2092-1625
نسبة الموت (%)	0.83	0.83	0.83	14.0 ³
ربح العلف (g/g)	1.88	1.86	0.02	2.03-1.70
ذبيحة بعد التبريد (g/kg CCW)	706	710	3.2	
ذكور	708	713	4.5	792-626
إناث	705	707	4.5	791-622

	2.2	265	269	الصدر (g/kg CCW)
324-207	3.0	265	270	ذكور
331-206	3.0	265	267	إناث
	0.6	36	35	وزن الكبد (g/kg CCW)
51-20	0.8	36	35	ذكور
51-20	0.8	37 ^a	34 ^b	إناث
	0.3	15	15	دهن البطن (g/kg CCW)
24-5	0.5	14	15	ذكور
24-5	0.5	15	15	إناث

g/kg CCW / غرام / كيلو غرام من الوزن بعد الذبح.

^{a, b} فرق ملحوظ بين علف المقارنة والعلف DAS-59122-7

ولم تُرَ فوارق إحصائية ملحوظة في جميع مستويات الفرائج المسمّنة والمذبوحة التي أكلت علفاً ممزوجاً مع ذُرّة DAS-59122-7، أو التي أكلت علفاً من حبوب مقارنة شبه مماثلة جينياً. والاستثناء الوحيد هو الوزن الزائد لأكباد إناث الفرائج التي عُلِفَت بالذُرّة DAS-59122-7 (الجدول 13).

ولم تُعتبر زيادة أوزان أكباد الإناث مهمة حين ضبط معدل الاكتشاف الزائف، ومن غير المرجح أن يكون ذا أهمية حيوية لأن جميع أوزان الأكباد الإفرادية في الإناث التي عُلِفَت بحبوب ذُرّة DAS-59122-7 وقعت ضمن مجال التسامح التي حُسِبَت من أوزان أكباد إناث عُلِفَت بحبوب الذُرّة المرجعية (McNaughton et al., 2007). لذا استنتج المؤلّفون أن مواصفات الفرائج التي عُلِفَت بحبوب الذُرّة المعدلة جينياً DAS-59122-7، التي تحوي البروتينات Cry 34Ab1 و Cry 35Ab1 و PAT، مكافئة غذائياً لحبوب الذُرّة المشتقة من ذُرّة المقارنة غير المعدلة جينياً.

دراسات الاستقلاب

في الدراسات الاستقلابية الممكنة لأسلاف المغذيات، يجب استعراض زيادة المغذيات أو تراكيز المواد المعيقة للتغذية المنخفضة وفقاً للمقترحات الموضوعية لدراسات من هذا النوع والواردة في (2008) EFSA أو (2005) Flachowsky and Böhme.

يتضمن الجدولان 14 و15 أمثلة لاستعراض تحويل كاروتين بيتا الموجود في الذرة إلى فيتامين. لقد أضاف هاو وتنميهاريو (2006) Howe and Tanumihardjo كاروتين بيتا إلى الذرة الفقيرة به وبفيتامين A وقارنا النتيجة بذرة غنية بالكاروتين. واستعمل مصلى وكبد بوصفها مؤشرين (الجدول 15) لبيان تحوّل كاروتين بيتا إلى فيتامين A. ووفقاً لما هو معروف، لم يُر المصل أي تأثير لإضافة كاروتين بيتا أو فيتامين A، أما الكبد فقد أظهر تأثيرات واضحة. فقد كان كاروتين بيتا المستخلص من الذرة ملائماً ليكون كاروتين بيتا متمماً، إلا أن أقل من نصف فيتامين A كان فاعلاً (الجدول 15).

الجدول 14: مقترحات لتقييم تحوّل أسلاف المغذيات من الجيل الثاني من نباتات معدلة جينياً إلى مغذيات (أي كاروتين بيتا).

المجموعات ³	تركيب العلف	القياسات ²
1 ¹	علف متوازن يحتوي على مستويات عادية من نظيرات مشابهة جينياً + كاروتين بيتا (مستويات ملائمة للمحاصيل المعدلة جينياً)	تعتمد على التعديل الجيني المتبع: - تركيز المواد المحوّلة في الأعضاء المختبرة (فيتامين A في الكبد مثلاً) ²
2 ¹	علف متوازن مع مقادير ملائمة من محصول معدل جينياً	- موسطات الاستقلاب

¹ علف متساو لجميع الحيوانات. استهلاك الحيوانات في الفترة الابتدائية.

² حتى الوصول إلى حالة مستقرة في الأعضاء موضوع الاهتمام.

³ 3 مجموعات أو أكثر مع نباتات تجارية مشابهة جينياً موصى بها لتقييم

المجال الحيوي الطبيعي (مجال التسامح) (2007) ILSI.

الجدول 15: تصميم تجارب لتحديد تحويل كاروتين بيتا إلى فيتامين A في الذرة (60% علف، فأر منعولي، n=10، مدة الاستهلاك: 4 أسابيع، مدة العلف: 8 أسابيع). (Howe and Tanumihardjo, 2006)

علف مقارنة +فيتامين A	علف مقارنة +كاروتين بيتا	ذرة غنية بالكاروتين	علف مقارنة من دون إضافة (ذرة فقيرة بالكاروتين)	
4.4	8.8	8.8	0	كاروتين بيتا (nmol/g)
106	106	106	0	تناول نظري للريتينول (nmol/g)
1.22±0.16	20.123±0	1.25±0.22	1.23±0.20	ريتينول في المصل (µmol/g)
0.56 ^c ±0.15	0.25 ^b ±0.08	0.25 ^b ±0.15	0.10 ^a ±0.04	ريتينول في الكبد (µmol/g)

a,b,c الأحرف المختلفة في السطر تعني فروقاً عامة.

ويُري الجدولان 16 و17 مقترحاً لتقدير نسبة الفيتامينات الدنيا في النباتات المعدلة جينياً مع نتائج من دراسة سابقة. وقد قارن المؤلفون ذرة مقارنة منخفضة الفوسفور بنوع منخفض الفيتامينات. لقد احتاجت الخنازير التي عُلِفَت بذرة مقارنة إلى متمم ذي فوسفور لا عضوي من أجل زيادة يومية ملائمة في الوزن وقوة العظام، إلا أنها طرحت مزيداً من الفوسفور. وُثِرِي النتائج أن الذرة المنخفضة الفيتامينات يمكن أن تُسهم في استعمال أكثر كفاءة لمورد الفوسفور المحدود ويمكن أن تُقلِّص طرح الفوسفور. ويوجد مزيد من المقترحات لتصميم تجارب تقدير القيمة الغذائية للجيل الثاني من النباتات المعدلة جينياً في (EFSA, 2008) و (Flachowsky and Böhme, 2005) و (ILSI, 2007).

الجدول 16: مقترح لتقدير تأثيرات مثبتات الوفرة الحيوية للمغذيات (الفيتامينات مثلاً).

المجموعات ¹	تركيب العلف	القياسات
1	خلطة متوازنة تتضمن مستويات عادية من نظيرات مشابهة جينياً، علف بحسب رغبة الحيوان	تعتمد على نوع التعديل الجيني
2	خلطة المجموعة 1 إضافة إلى مغذيات مثبتة (فوسفور مثلاً)، علف بحسب رغبة الحيوان	- قابلية هضم المغذي المثبط تجربة - تربية الحيوانات موضوع الاهتمام
3	خلطة متوازنة تتضمن نظيرات معدلة جينياً بمستويات ملائمة للمجموعة 1 (علف منخفض الفيتامينات مثلاً)	- تركيز المغذي المثبط في العضو المؤثر
4	خلطة المجموعة 3 مع المغذي المثبط في المجموعة 2	

¹ ثلاث مجموعات أو أكثر في النباتات التجارية غير المعدلة جينياً

الجدول 17: ذرة عادية وذرة منخفضة الفيتات (%78.5 من الخلطة) في علف تسمين خنازير (Spencer et al., 2000).

ذرة منخفضة الفيتامينات		ذرة مقارنة		
(1.7 غرام فوسفور في كيلو غرام)		(0.3 غرام فوسفور في كيلو غرام)		
+	-	+	-	متمم فوسفوري لعضوي
5.4 ¹	3.4	5.4 ¹	3.4	نسبة الفوسفور (g/kg) 73-29 كيلو غراماً وزن حي

4.7 ²	3.2	4.7 ²	3.2	112-73 كيلو غراماً وزن حي
2.51 ^b	2.53 ^b	2.50 ^b	2.23 ^a	استهلاك العلف (كيلو غرام في اليوم)
880 ^b	900 ^b	870 ^b	730 ^a	زيادة الوزن الحي (غرام في اليوم)
2.85 ^b	2.81 ^b	2.87 ^b	3.05 ^a	نسبة العلف إلى الزيادة (كيلو غرام / كيلو غرام)
8.8 ^c	3.8 ^b	8.9 ^c	4.6 ^a	فوسفور مطروح (غرام للكيلو غرام)
153.9 ^d	132.2 ^b	138.5 ^{bc}	79.4 ^a	المتانة (عظم المشط الرابع، كيلو غرام)
61.2 ^c	59.3 ^b	60.1 ^{bc}	53.5 ^a	نسبة الرماد (% في عظم المشط الرابع)

a, b, c, d تعني الأحرف المختلفة في السطر فروقات مهمة (p<0.05)

+1.5 g P/kg², +2.0 g P/kg¹

دراسات السماح والكفاءة

الغرض من اختبار السماح هو توفير تقييم محدود للسمية القصيرة الأجل للأعلاف المعدلة جينياً للحيوانات المعلوفة. ويُستعمل أيضاً لوضع حدود للأمان إذا استُهلك العلف بجرعات أكبر من الموصى به للحيوان موضوع الاهتمام. ويجب إجراء اختبارات السماح تلك بغية توفير دليل على أمان العلف لكل من الأجناس أو الفئات الرئيسية التي تُعلف بالعلف الموصى به. وعادة، يكون اختبار السماح جزءاً من دراسات فاعلية الحيوانات وفئاتها.

الدراسات البعيدة المدى

تستحوذ الدراسات البعيدة المدى للحيوانات المنتجة للغذاء، التي تُعلف بنباتات معدلة جينياً على أكبر اهتمام من الناس بسبب التأثيرات السالبة المتوقعة بعد الاستهلاك المديد لتلك الأعلاف (انظر Seralini et al., 2007). أولاً، يجب تحديد

معنى العبارة «بعيدة المدى». تعتمد مدة حياة الحيوان المنتج للغذاء على نوعه وفئته إضافة إلى غنى العلف (علف عادي أو عضوي). ويُري الجدول 18 مدد التربية والتسمين للحيوانات المنتجة للغذاء.

الجدول 18: أمثلة لمدد حياة تسمين الحيوانات (بالأيام)

جنس الحيوان/ فئته	علف عادي/ علف مكثف	علف عضوي/ مدة موسعة
دجاج للتسمين (فراريج)	42-35	84-56
ديك حبش (رومي) للتسمين	168-56	112-70
خنازير للتسمين	300-150	400-200
عجول للتسمين	200-80	-
ثيران للتسمين	500-300	600-400

ويخضع الدجاج البياض والبقر الحلوب عادة إلى مدد أطول:

- الدجاج البياض: 140-126 يوماً لتربية الصيصان، و300-360 يوماً (سنة تقريباً) لوضع البيض.

- البقر الحلوب: 36-22 شهراً لتربية العجول الصغيرة، وسنة حتى 10 سنوات لإنتاج الحليب (من سنتين حتى خمس سنوات وسطياً في أوروبا).

وتغطي دراسات التأثيرات البعيدة المدى خمسة أسابيع في حالة الفراريج وخمس سنوات في حالة البقر الحلوب. وثمة اختلافات كبيرة في التأثيرات البعيدة المدى بين الحيوانات والبشر. وأحد موضوعات للدراسات البعيدة المدى الأخرى يخصص تأثير العلف المعدل جينياً في خصوبة الحيوان. لذا ثمة حاجة إلى مزيد من تجارب الأجيال بغية الإجابة عن هذا السؤال وفقاً للمبين في الشكل 3 من أجل تجربة ثلاثة أجيال على طيور السُّمان (Flachowsky et al., 2005b). وحالياً من المعروف تماماً أن عدداً محدوداً فقط من دراسات الحيوانات المنتجة للغذاء يحقق متطلبات المدى الطويل وفقاً للتعريف المذكور آنفاً، ومنها أيضاً بعض الأنواع المرجعية التجارية.

البحث المطلوب

بيّنت الدراسات في العالم أنه في ضوء (1) المنافسة المتزايدة على الأرض الزراعية الناجمة عن الطلب الكبير للغذاء والعلف والوقود والمواد الخام للصناعة والإسكان والمحميات الطبيعية، (2) وتزايد عدد السكان ذوي الدخل العالي، تزايد الحاجة إلى الغذاء الحيواني المنشأ بسرعة (انظر الجدولين 1 و2 والشكل 1). ويُعتبر توفير أعلاف كافية للحيوانات تحدياً رئيسياً. لذا يستثمر المزارعون في نباتات أكثر كفاءة وذات مردود أعلى واحتياجات أقل من الموارد المحدودة (الماء، الوقود الأحفوري، الفوسفور... إلخ). وتُعتبر النباتات التي هي أكثر مقاومة لعوامل الضغط الحيوية وغير الحيوية مهمة لزيادة المردود الزراعي لمساحة معينة من المادة الجافة والطاقة. وفي ما يخص أنواع النباتات الجديدة المعدلة جينياً، يمكن أيضاً للبحث الأساسي أن يوفر رؤية للتغيرات غير المقصودة الممكنة الناجمة عن تلك التعديلات، إضافة إلى مدى التغيرات المحيطية. إن معظم الكتلة الحيوية يُستعمل علفاً للحيوانات (انظر الجدول 2). لذا على المزارعين أن يزرعوا أعلاف الحيوانات وأن يحققوا مزيداً من التعاون في الخطوات الأولى من زراعة النباتات (Flachowsky, 2008).

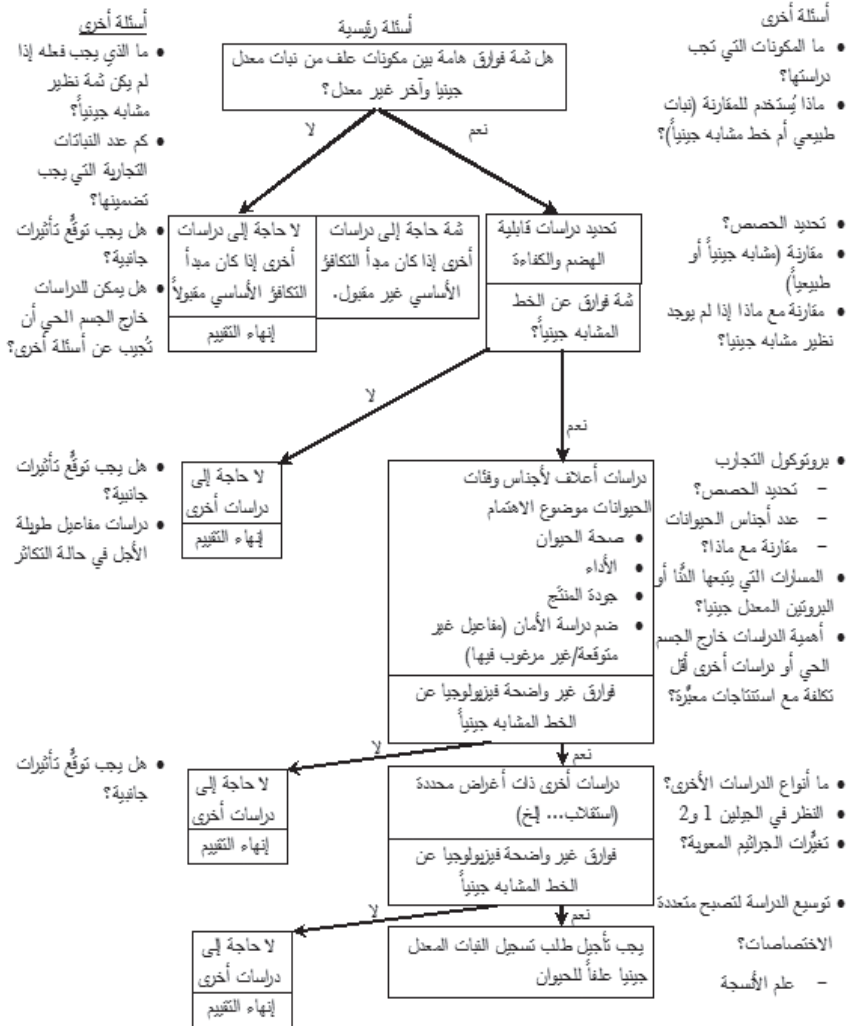
إن معظم النباتات المعدلة جينياً لا تلبى حالياً الاحتياجات المذكورة آنفاً (انظر الجدول 19). لذا يجب أن يكون الاستعمال الأعلى كفاءة للموارد المحدودة واحداً من الأهداف الرئيسية لزراعة النباتات من أجل تطوير أنواع ذات متطلبات أقل.

الجدول 19: تقييم تعديلات النباتات الحالية من حيث سلامة وأمن الغذاء.

الأهداف	الأهمية الراهنة	الإسهام في	
		سلامة الغذاء	أمن الغذاء العالمي
مقاومة أكبر لمبيدات الأعشاب	↑↑↑↑	↑	↑
مقاومة أكبر للحشرات (سوسة الذرة مثلاً)	↑↑	↑	↑
مزيد من المكونات العالية القيمة	↑	~	(↑)
قليل من المكونات غير المرغوب فيها	(↑)	↑↑	↑
استعمال أعلى كفاءة للموارد (الماء وغيره)	(↑)	↑	↑↑↑

الأهمية: YYY عالية جداً، YY عالية جداً، Y عالية، ~ غير مهمة

ويمكن توقع أن تحتوي الأجيال القادمة من النباتات المعدلة جينياً على سمات أكثر تعقيداً منها أنماط تغذية مختلفة، وأن يُستعمل حيز أوسع من المتعضيات لإدخال سمات جديدة من خلال عمليات التكنولوجيا الجينية. ويمكن لأحد السيناريوهات الممكنة الأخرى أن يمكننا من إنتاج أنواع معدلة جينياً متعددة الطبقات بالزراعة العادية، وأن تحمل عدة سمات معدلة جينياً ضمن نفس الجينوم، وأن تنطوي على مضامين مهمة للتغذية.



الشكل 5: مقترح لشجرة قرار التقييم الغذائي لعلف الجيلين الأول والثاني من النباتات المعدلة جينياً.

ويمكن لسّمات التعديلات الجينية الجديدة، مع متطلبات صحة وتغذية معينة، أن تحتاج إلى قاعدة إضافية لإجراء بحوث أساسية أيضاً من قبل معاهد وجامعات مستقلة مموّلة حكومياً. ويمكن لهذه البحوث الإضافية أن توافر رؤية للتغيّرات الممكنة غير المقصودة الناجمة عن تلك التعديلات، إضافة إلى مدى التغيّرات المحيطة. ويمكن توقُّع مزيد من التأثيرات الجانبية في النباتات المتعددة التعديلات الجينية، وفقاً لما بيّنه سلليني وآخرون (Cellini et al., 2004). في هذه الحالات، يوصى بدراسات وفقاً لشجرة القرار (الشكل 5) من أجل تقييم المحتوى الغذائي للنبات المعدل جينياً وأمانه للحيوانات موضوع الاهتمام. ويمكن تعديل المقترح تبعاً للأسئلة المطروحة (عن التكاثر مثلاً). ويجب استعمالها على أساس قرارات تخص كل حالة على حدة. إن تقييم المحتوى الغذائي للنبات المعدل جينياً وأمانه، مقارنة بالنباتات العادية، ليس متوازناً تماماً حالياً (Kok et al., 2008). لذا من الضروري تعديل أطر الانتقاء على أساس معايير علمية مبتكرة تخص سلامة أنواع النباتات المختلفة المطروحة في الأسواق للمستهلك البشري والحيوان.

خلاصة

تُسهّم النباتات المعدلة جينياً كثيراً في سوق الأعلاف في شتى أنحاء العالم (نحو 7% من الأرض الزراعية في العالم). وعلى وجه الخصوص، تُقدّم الذرة وفول الصويا المعدّان جينياً إلى الحيوانات المنتجة للحوم والبيض والحليب. وإلى جانب مخاوف معظم الناس الناجمة عن القلق من أمان تلك النباتات، طُرحت بعض الأسئلة أيضاً بخصوص قيمتها الغذائية وتأثيراتها البعيدة المدى. وبناء على المناقشات الواردة في المنشورات: يمكن التوصل إلى الاستنتاجات الآتية:

قُدّمت أعلاف النباتات المعدلة جينياً إلى أجناس وفئات مختلفة من حيوانات اللحوم والحيوانات المنتجة للغذاء. وقد اشتمل بعض الدراسات على كامل حياة الحيوان (35 يوماً في حالة الفراريج، مثلاً)، واشتملت دراسات أخرى على مدة محدودة من كامل حياة الحيوان (خاصة في حالة الحيوانات المديدة العمر، ومنها الدجاج البيّاض والبقر الحلوب وغيرها). أما نقطة الضعف الأخرى في معظم دراسات الأعلاف فهي تصميم التجارب. فمعظم المؤلفين قارنوا أعلاف النباتات المعدلة جينياً بنظيراتها المشابهة لها جينياً.

وتُعتبر أعلاف النباتات المعدلة جينياً ذات السّمات المُدخلة غالباً ماثلة من

حيث التغذية لنظيراتها المشابهة جينياً. وتحتوي نباتات العسوية الثورنجية غالباً على مستويات منخفضة من الديقان الفطري. ولا تتضمن الدراسات وصفاً لفوارق حيوية هامة في قابلية الهضم والصحة، أو لتأثيرات غير مقصودة في الأداء وفي تركيب الغذاء الحيواني المنشأ.

وجرت التوصية بتضمين التجارب عدداً مهماً من أنواع الأعلاف التجارية لاستعراض المجال الحيوي للموسطات المقيسة من أجل تقييم الفوارق الإحصائية من حيث الأهمية الحيوية بين النبات المعدل حيويًا ونظيره. وثمة حاجة إلى مزيد من الدراسات لتقدير الجانب الغذائي من علف النبات المعدل جينياً ذي السمات المُخرَجة (الجيل الثاني).

ويمكن لشظايا صغيرة من الدنا أن تمرّ عبر الغشاء المخاطي وأن تُكشف في بعض أنسجة الجسم. ويمكن الاستنتاج أن حصول انتقال جيني لشظايا الدنا المقترنة بالنبات المعدل جينياً ليس أكثر مما هو في النباتات العادية. إلا أنه لم تُكتشف قط جينات دنا معدلة جينياً أو وحدات وظيفية صغيرة منها، أو بروتينات جديدة، في نسيج الحيوان.

وتقدّم المقالتان الأخيرتان، (ILSI, 2007) and (EFSA, 2008)، توصيات لدراسات أخرى. إضافة إلى دراسات تقييم جوانب التغذية (قابلية الهضم ووفرة المغذيات مثلاً)، توصيان بدراسات التأثيرات بعيدة المدى لحيوانات تُعلّف بنباتات معدلة جينياً ذات سمات مُخرَجة (الجيل الثاني) من أجل الإجابة عن أسئلة معينة (نخصّ التكاثر مثلاً).

بالنتيجة، يجب إخضاع أعلاف النباتات المعدلة جينياً إلى تقييم صارم لأمانها ومحتواها الغذائي، على غرار أعلاف النباتات العادية المستعملة حالياً. ويجب تطوير إطار غرّبلية عام لجميع أنواع النباتات المطوّرة حديثاً، وذلك على بناءً على معايير علمية (Kok et al., 2007).

مراجع

Alexander, T. W., Reuter, T., Aulrich, K., Sharma, R., Okine, E. K., Dixon, W. T. & McAllister, T. A. (2007). A review of the detection and fate of novel plant molecules derived from biotechnology in livestock production. *Anim. Feed Sci. Technol.*, 133, 31-62

Astwood, J. D., Leach, L. N. & Fuchs, R. L. (1996). Stability of food allergens to digestion in vitro. *Nat. Biotech.*, 14, 1269

Aulrich, K., Böhme, H., Daenicke, R., Halle, I. & Flachowsky, G. (2001). Genetically modified feeds in animal nutrition. 1st Com., *Bacillus thuringiensis* (Bt) com in poultry, pig and ruminant nutrition. *Arch. Anim. Nutr.*, 54, 183-195.

Aulrich, K., Reuter, T. & Flachowsky, G. (2002). The fate of foreign DNA in farm animals fed with genetically modified plants. *Proc. Soc. Nutr. Physiol.*, 11, 187-188.

Aulrich, K., Pahlow, G. & Flachowsky, G. (2004): Influence of ensiling on the DNA degradation in isogenic and transgenic com. *Proc. Soc. Nutr. Physiol.*, 13, 112.

Aumaitre, A., Aulrich, K., Chesson, A., Flachowsky, G. & Piva, G., (2002). New feeds from genetically modified plants: Substantial equivalence, nutritional equivalence, digestibility, and safety for animals and the food chain. *Livest. Prod. Sci.*, 74, 223-238

Bakan, B., Melcion, D., Richard-Molrad, D., & Cahagnier, B. (2002). Fungal growth and fusarium mycotoxin content in isogenic traditional maize and genetically modified maize grown in France and Spain. *J Agric. Food Chem.*, 50, 728-731

Beever, D. E., Kemp, F. (2000): Safety issues associated with the DNA in animal feed derived from genetically modified crops: a review of scientific and regulatory procedures. *Nutr. Abstr. Rev.*, 70, 197-204

Beever, D. E. & Phipps, R. H. (2001). The fate of plant DNA and novel proteins in feeds for farm livestock: a United Kingdom perspective. *J. Anim. Sci.*, 79 (E Suppl.), E290-E295

Berger, B., Aulrich, K., Fleck, G. & Flachowsky, G. (2003). Influence of processing of isogenic and transgenic rapeseed on DNA-degradation. *Proc. Soc. Nutr. Physiol.*, 12, 108 (Abstract)

Betz, F., Hammond, B. G. & Fuchs, R. L. (2000). Safety and advantages of *Bacillus thuringiensis*-protected plants to control insect pests. *Regul. Toxicol. Pharmacol.*, 32, 156-165

Böhme, H., Aulrich, K., Daenicke, R. & Flachowsky, G. (2001).

Genetically modified feeds in animal nutrition. 2nd communication: Glufosinate tolerant sugar beets (roots and silage) and maize grains for ruminants and pigs. *Arch. Anim. Nutr.*, 54, 197-207

Broll, H., Zagon, J., Butschke, A., Leftke, A., Spiegelberg, A., Böhme, H. & Flachowsky, G. (2005). The fate of DNA of transgenic inulin synthesizing potatoes in pigs. *J. Anim. Feed Sci.*, 14, Suppl. 1: 337-340

Cahagnier, B. & Melcion, D. (2000). Mycotoxins de Fusarium dans les maïs - grains a la recolte: relation entre la presence d'insects (pyrale, sesamie) et la teneur en mycotoxins. Proc. Of the 6th Internat. Feed Proc. Conference, 27-28 November, *Piacenza*, 237-249

Calsamiglia, S., Hernandez, B., Hartnell, G. F. & Phipps, R. (2007). Effects of com silage derived from a genetically modified variety containing two transgenes on feed intake, milk production, and composition, and the absence of detectable transgenic deoxyribonucleic acid in milk in Holstein dairy cows. *J. Dairy Sci.*, 90, 4718-4723

CAST (2006). Safety of meat, milk, and eggs from animals fed crops derived from modern *biotechnology*, No 34, 8 p.

Cellini, F., Chesson, A., Coquhonn, I., Constable, A., Davies H. V., Engel, K. H., Gatehouse, A. M. R., Kärenlampi, S., Kok, E. J., Legnay, J. J., Lehesranta S., Noteborn, H. P. J. M., Pedersen, J. & Smith, M. (2004). Unintended effects and their detection in genetically modified crops. *Food Chem. Toxicol.*, 42, 1089-1123

Clark, J. H. & Ipharraguerre, I. R., (2001). Livestock performance: Feeding biotech crops. *J. Dairy Sci.*, 84, E. Suppl., E9-E18, 237-249

Demanèche, S., Sanguin, H., Poté, J., Navarro, E., Bernillon, D., Mavingui, P., Wildi, W., Vogel, T. M. & Simonet, P. (2008). Antibiotic-resistant soil bacteria in transgenic plant fields. *Proc. Natl. Acad. Sci.*, 105, 3957-3962

EFSA (European Food Safety Authority), (2004). Guidance document of the scientific panel on genetically modified organisms for the risk assessment of genetically modified plants and derived food and feed. *EFSA J.* 99, 1-93

EFSA (2008). Safety and nutritional assessment of GM plant derived food and feed. The role of animal feeding trials. *Food and Chemical Tox.*, 46, 2-70

Einspanier, R. & Flachowsky, G. (2008). Safety of meat, milk and eggs from animals fed genetically modified crops. Encyclopedia of Animal Science by W.G. Pond and AW. Bell (Eds.). Health Sciences/Reference, *Taylor & Francis Group*, LLC, New York, USA (in press)

Einspanier, R., Klotz, A., Kraft, J., Aulrich, K., Poser, R., Schwägele, F., Jahreis, G. & Flachowsky, G. (2001). The fate of forage plant DNA in farm animals: A collaborative case-study investigating cattle and chicken fed recombinant plant material. *Eur. Food Res. Technol.*, 212, 129-134

El Sanhoty, R. M. E. S. (2004). Quality control for food produced by genetic engineering. Diss., TU Berlin, 155 pp.

FAO/WHO (2000). Safety Aspects of Genetically Modified Foods of Plant Origin. Report of a Joint FAO/WHO Expert Consultation on Foods Derived from Biotechnology. *World Health Organization, Geneva*

Federici, B. A. & Siegel, J. P. (2008). Safety assessment of *Bacillus thuringiensis* and Bt crops used in insect control. In: Food Safety of proteins in Agricultural Biotechnology, by B.G. Hammond (Ed.) CRC Press, *Taylor & Francis Group*, 45-102

Flachowsky, G. (2002). Efficiency of energy and nutrient use in the production of edible protein of animal origin. *J. Appl. Res.*, 22, 1-24

Flachowsky, G. (ed., 2006). Possibilities of decontamination of “Undesirable substances of Annex 5 of the Feed Law (2006)” (in German), *Landbauforschung Völkenrode - FAL Agric. Res., Spec. Issue*, 294, 290 p.

Flachowsky G. (2008). What do animal nutritionists expect from plant breeding? *Outlook on Agricult*, 37, (in press)

Flachowsky, G. & Aulrich, K. (2001). Nutritional assessment of

GMO in animal nutrition. *J. Anim. Feed Sci.*, 10, Suppl. 1, 181-194

Flachowsky, G., Aulrich, K., Böhme, H. & Halle, I. (2007). Studies on feeds from genetically modified plants (GMP) Contributions to nutritional and safety assessment. *Anim. Feed Sci. Technol.*, 133, 2-30

Flachowsky, G. & Böhme, H. (2005). Proposals for nutritional assessments of feed from genetically modified plants. *J. Anim. Feed Sci.*, 14, 49-70

Flachowsky, G. & Brade, W. (2007). Potenziale zur Reduzierung der Methan-Emissionen bei Wiederkäuern. *Züchtungskunde*, 79, 417-365

Flachowsky, G., Chesson, A. & Aulrich, K. (2005a). Animal nutritional with feeds from genetically modified plants. *Arch. Anim. Nutr.*, 59, 1-40

Flachowsky, G. & Dänicke, S. (2005). From feed to safe food -Contributions of animal nutrition to the safety of food. In: *New Developments in Food Policy, Control and Research*, Ed. By A. P. Riley, Nova Science Publ., Inc., 65-95

Flachowsky, G., Halle, I. & Aulrich, K. (2005b). Long term feeding of Bt-corn - a ten generation study with quails. *Arch. Anim. Nutr.*, 59, 449-451

Halle, I., Aulrich, K & Flachowsky, G., (2006). Four generations feeding of GMO-corn to laying hens. *Proc. Soc. Nutr. Physiol*, 15, 114, Abstract

Hammond, B. C. (Ed., 2008). *Food safety of proteins in agricultural biotechnology*, CRC Press, Taylor & Francis Group, Boca Raton, London, New York, 299 p.

Hammond, B. & Cockburn, A. (2008). The safety assessment of proteins introduced into crops developed through agricultural biotechnology: A consolidated approach to meet current and future needs. In: *Food safety of proteins in Agricultural Biotechnology*, by B. G. Hammond (Ed.). CRC Press, Taylor & Francis Group, 259-288

Hoekstra, A. Y. & Chapagain, A. K. (2007). Water footprints of nations. Water use by people as a function of their consumption pattern *Water Res. Managen*, 21, 35-48

Howe, J. A. & Tanumihardjo, S. A (2006). Carotenoid-biofortified maize maintains adequate vitamin A status in Mongolian gerbils. *J. Nutr.*, 136, 2562-2567

Hupfer, C., Mayer, J., Hotzel, H., Sachse, K. & Engel, K. H., (1999). The effect of ensiling on PCR-based detection of genetically modified Bt maize. *Eur. Food Res. Technol.*, 209, 301-304

ILSI (2003). Best practices for the conduct of animal studies to evaluate crops genetically modified for input traits. International Life Sciences Institute, Washington, D. C. 62 p. <http://www.ilsa.org/fileibestpracticescas.pdf>.

ILSI (2004). Nutritional and safety assessments of foods and feeds nutritionally improved through biotechnology. *Compr. Rev. Food Sci. Food Safety*, 3, 36-104

ILSI (2007). Best practices for the conduct of animal studies to evaluate crops genetically modified for output traits. *Int. Life Sci. Inst.*, Washington D. C.

James, C. (2007). Global status of commercialised transgenic crops: 2007. ISAA: Ithaca NY. <http://www.isaaa.org>.

Keyzer, M. A, Merbis, M. D., Pavel, L. F. P. W. & Van Wesenbeck C. F. A. (2005). Diets shifts towards meat and the effect on cereal use: Can we feed the animals in 2030 *Ecological Economics*, 55, 187-202

Kok, E. J., Keijer, J., Kleter, G. A. & Kuiper, H. A. (2007). Comparative safety assessment of plant-derived feeds. *Reg. Toxicol. Pharmacol*, 50, 98-113

Konig, A., Cockburn, A., Crevel, R. W. R., Debruyne, E., Grafstroem, R, Hammerling, U., Kimber, I., Knudsen, I., Kuiper, H. A., Peijnenburg, A. A. C. M., Penninks, A H., Poulsen, M., Schauzu, M. & Wal, J. M. (2004): Assessment of the safety of foods derived from

genetically modified (GM) crops. *Food Chem. Toxicol.*, 42, 1047-1088

Lucas, D. M., Taylor, M. L., Hartnell, G. F., Nemeth, M. A., Glenn, K. C. & Davis, S. W. (2007). Broiler performance and carcass characteristics when fed diets containing lysine maize (LY038 or LY038 x MON 810), control or conventional reference maize. *Poultry Sci.*, 86, 2152-2161

Martens, M. A. (2000). Safety evaluation of genetically modified foods. *Int. Arch. Occup. Environ. Health*, 73 (Suppl.), S 14-S18

Mazza, R., Soave, M., Morlacchini, M., Piva, G. & Marocco, A. (2005). Assessing the transfer of genetically modified DNA from feed to animal tissues. *Transg. Res.*, 14, 775-784

McNaughton, I. L., Roberts, M., Rice, D., Smith, B., Hinds, M., Schmidt, J., Locke, M., Bryant, A, Rood, T., Layton, R., Lamb, I. & Pelaney, B. (2007): Feeding performance of broiler chickens fed diets containing DAS-59122-7 maize grain compared to diets containing nontransgenic maize grain. *Anim. Feed Sci. Technol.*, 132, 227-239

Munkvold, G. P., Hellmich, R. L. & Rice, L. G. (1999). Comparison of Fumonisin concentrations in kernels of transgenic Bt-maize hybrids and nontransgenic hybrids. *Plant Disease*, 83, 130-138

OECD (2001a). Series on the Safety of Novel Foods and Feeds No. 1. Consensus document on key nutrients and key toxicants in low erucic acid rapeseed (canola). *Organization for Economic Co-operation and Development*, Paris, France

OECD (2001b). Series on the Safety of Novel Foods and Feeds No. 2: Consensus document on compositional considerations for new varieties of soybean: Key food and feed nutrients and anti-nutrients. *Organization for Economic Co-operation and Development*, Paris, France

OECD (2002a). Series on the Safety of Novel Foods and Feeds No. 3: Consensus document on compositional considerations for new varieties of sugar beet: Key food and feed nutrients and anti-nutrients. *Organization for Economic Cooperation and Development*, Paris, France

OECD (2002b). Series on the Safety of Novel Food and feed

No. 4. Consensus document on compositional considerations for new varieties of potatoes: key food and feed nutrients and anti-nutrients and toxicants. *Organization for Economic Co-operation and Development*, Paris, France

OECD (2002c). Series on the Safety of Novel Foods and Feeds No. 5: Consensus document on compositional for new varieties of maize (*Zea mays*): Key food and feed nutrients and anti-nutrients and secondary metabolities. *Organization for Economic Co-operation and Development*, Paris, France

OECD (2003). Series on the Safety of Novel Food and feed No. 7. Consensus Document on Compositional Considerations for New Varieties of Bread Wheat (*Triticum aestivum*): Key Food and Feed Nutrients, Anti-Nutrients and Toxicants. *Organization for Economic Co-operation and Development*, Paris, France

OECD (2004a). Series on the Safety of Novel Food and feed No. 10. Consensus Document on Compositional Considerations for New Varieties of Rice (*Oryza sativa*): Key Food and Feed Nutrients and Anti-Nutrients. *Organization for Economic Co-operation and Development*, Paris; France

OECD (2004b). Series on the Safety of Novel food and feed No. 11. Consensus Document on Compositional Considerations for New Varieties of Cotton (*Gossypium hirsutum* and *Gossypium barbadense*): Key Food and Feed Nutrients and Anti-Nutrients. *Organization for Economic Co-operation and Development*, Paris, France

OECD (2004c). Series on the Safety of Novel Food and feed No. 12. Consensus Document on Compositional Considerations for New Varieties of Barley (*Hordeum vulgare* L.): Key Food and Feed Nutrients and Anti-nutrients. *Organization for Economic Cooperation and Development*, Paris, France

OECD (2005). Series on the Safety of Novel Food and feed No. 13. Consensus Document on Compositional Considerations for New Varieties of Alfalfa and other Temperate Forage Legumes: Key

Feed Nutrients, Anti-nutrients and Secondary Plant Metabolites. *Organization for Economic Co-operation and Development*, Paris, France

Pietri, A. & Piva, G. (2000). Occurrence and control of mycotoxins in maize grown in Italy. Proc. Of 6th Internat. Feed Produc. Confer. 27.-28. November, Piacenza, 226-236

Reuter, T. & Aulrich, K. (2003). Investigations on genetically modified maize (Bt-maize) in pig nutrition: fate of feed ingested foreign DNA in pig bodies. *Europ. Food. Res. Technol.*, 216, 185-192

Reuter, T., Aulrich, K., Berk, A. & Flachowsky, G. (2002a). Investigations on genetically modified maize (Bt-maize) in pig nutrition: Chemical composition and nutritional evaluation. *Arch. Anim. Nutr.*, 56, 23-31

Reuter, T., Aulrich, K. & Berk, A. (2002b). Investigations on genetically modified maize (Btmaize) in pig nutrition: Fattening performance and slaughtering results. *Arch. Anim. Nutr.*, 56, 319-326.

Scholtz, N., Knura, S., Steiner, U., Dehne, H.-W., Halle, L., Flachowsky, G. & Sauerwein, (2006). Metabolic characteristics in layer quails fed with Bt-transgenic maize. *Proc.Soc.Nutr. Phys.*, 15, 89.

Seale, J. W. & English, L. (2008). The mode of action of bacterial protein toxis: The role of conformational changes in the life cycle of a protein toxin. In: *Food Safety of Proteins in Agricultural Biotechnology*, by B. G. Hammond (Ed.), CRC Press, Taylor & Francis Group, 31-44

Seralini, G.-E., Cellier, D., de Vendomris, J. S. (2007): New analysis of rat feeding study with a genetically modified maize reveals signs of hepatorenal toxicity. *Arch Environ. Contam, Toxicol.* 2007, 1-7.

Sharma, R., Damgaard, D., Alexander, T. W., Dugan, M. E. R., Aalhus, J. L., Stanford, K., & McAllister, T. A. (2006). Detection of transgenic and endogenous plant DNA in digesta and tissues of sheep and pigs fed roundup ready canola meal. *J. Agric. Food Chem.*, 54, 1699-1709.

Spencer, J. D., Allee, G. L., Sauber, T. E. (2000). Phosphorus bioavailability and digestibility of normal and genetically modified low-phytate corn for pigs. *J. Anim. Sci.*, 78, 675-681

Steinfeld, H., Gerber, P., Wassenaar, T., Castel, V., Rosales, M. & De Haan, C. (2006). Livestock's long shadow: Environmental issues and options. *Food and Agric.*, Organization of the United Nations (FAO), Rom.

Tony, M. A., Butschke, A. Broll, A., Zagon, J., Halle, L., Danicke, S., Schauzu, M., Hafes, H. M., & Flachowsky, G. (2003). Safety assessment of Bt 176 maize on broiler nutrition: degradation of maize-DNA and its metabolic fate. *Arch. Anim. Nutr.*, 57, 235-252.

Van den Eede, G., Kay, S. & Anklam, E. (2002): Analytical challenges: bridging the gap from regulation to enforcement. *J. AOAC Int.*, 85, 757-761.

Valenta, H., Dänicke, S., Flachowsky, G., & H. Böhme (2001). Comparative study on concentrations of the Fusarium mycotoxins deoxynivalenol and zearalenone in kernels of transgenic Bt-maize hybrids and nontransgenic hybrids, *Proc. of the Soc. of Nutr. Physiol*, 10, p. 182 (abstr.)

Van Dijk, J. E., Fledderus, A., Mouwen, J. M. & Holzhauer, C. (1988). Gastrointestinal food allergy and its role in large domestic animals. *Vet. Res. Commun.*, 12,47-59.

الفصل العاشر عشر

استمثال محتوى المازوف الصيني من المعادن ضئيلة التوافر الجوهريّة للتغذية بنشر السماد العضوي المخمر أو النتروجين في التربة

Gerhard Gramss and Hans Bergmann

Friedrich-Schiller-University, Institute of Geological Sciences,
Burgweg 11,
D-07743 Jena, Germany

ملخص

يكفي نشر النتروجين والفوسفور والبوتاسيوم على التربة للحصول على محاصيل غنية بالكتلة الحيوية والبروتينات والمعادن ضئيلة التوافر الضرورية لصحة النبات والمستهلك. وفي حين أنه يمكن تجاوز فقر التربة بالمعادن ضئيلة التوافر بسهولة، فإن التربة كثيرة المعادن عديمة الفائدة وتحتاج إلى معالجة استصلاحية مقبولة التكلفة. وقد جرى أخيراً تبيان أن امتصاص المعادن الانتقالية المقترنة ببروتينات الأيونات المعدنية (Metalloproteid)، أي (Cd)، Co، Cu، Mn، Ni، Zn، إضافة إلى Ca و Mg يزداد أو ينقص خطأً تقريباً مع محتوى ثنائيات الفلقة من النتروجين العضوي N_{org} . يُضاف إلى ذلك أن الكميات الضئيلة المتوافرة من المخلبيات المعدنية النباتية (Phytochelants) وبعض الحموض الأمينية في التربة تقدر امتصاصاً غير متناسب لعناصر معينة (Co، Mn)، في حين أن مركبات أمينية

أخرى تعزّز الكتلة الجافة وتكوين الـ N_{org} ، لا امتصاص المعادن الضئيلة التوافر (المتناسب). لذا فإن نشر المعادن الضئيلة التوافر في التربة الفقيرة بها، أو نتروجين التربة المستهلك للهيدروكربونات البادئة في التربة الغنية بالمعادن من أجل كبت تكوين الـ N_{org} وامتصاص المعادن (الثقيلة) في نفس الوقت، ليس الطريقة الوحيدة لاستمثال نسبة المعادن الضئيلة التوافر في النبات. وفي هذه الدراسة، وُضع الملفوف الصيني (الخسّ) على ركيزة من تربة مخلفات منجم يورانيوم غني بالمعادن. وجرى تخميد كربون التربة العضوي C_{org} الموجود بنسبة 2.5% (نسبة وزنية) برمل كوارتسي ($C_{org}=0$) إلى ركيزتي 9.5% و C_{org} 9.5% وإضافة سهاد مخمر فيشر (Corg (Fischer) 21% إلى ركيزتي 6.6% و 9.5% وعولجت التربة بهذه الطريقة لتخفيض تركيز العناصر الخطرة في محلول التربة بالتخميد البسيط أو بامتزاز المادة العضوية، ومن ثمّ كبح امتصاص النبات للمعادن الثقيلة. وتُوقّع أيضاً أن تكون للسهاد العضوي المخمر، بوصفه متمماً «هيدروكربونياً»، مفاعيل في تكوين نتروجين النبات العضوي N_{org} وتوازن المعادن المستقر. ونظراً إلى الاختلاف الكبير في موارد النتروجين المعدني بين ركائز التربة المخمّدة بالرمل والمستصلحة بالسهاد العضوي المخمر، يتغيّر كثيراً إنتاج الكتلة الجافة (5.5 ضعفاً) ونسبة النتروجين العضوي (3.3 ضعفاً) في بتلات الملفوف الصيني. وفي نسيج برعم من عينات تربة ذات C_{org} 0.5% أو C_{org} 2.5%، فإن تراكيز المعادن الانتقالية المقترنة بالبروتين Ca و Mg انخفضت وارتفعت مرة أخرى خطأً تقريباً مع N_{org} . وتناقص امتصاص عناصر أساسية وغير أساسية معينة فقط في حالة نباتات من تربة C_{org} 0.5%، مع تناقص محتواها من المعادن. ومع ظهور سهاد فيشر المخمر، انعكست العلاقة بين محتوى البراعم من النتروجين العضوي والامتصاص المتناسب مع مجموع المعادن الانتقالية المقترنة بالبروتين Ca و Mg، جذرياً، برغم أن هذه المعادن بقيت في المحلول، ولم ترتبط بالمتمم السهادي المخمر. ولم تكوّن الأنسجة براعم نبات من عينات تربة C_{org} 6.6/9.5% تراكيز عليا للنتروجين العضوي. ومع ذلك احتوت على مقدار صغير يساوي نحو 28/19% من كمية المعادن الانتقالية الخمسة، التي يمكن أن تُمتص نظرياً من تربة غير مستصلحة، لكي تتوافق مع مقدار النتروجين العضوي. وكُبت امتصاص الـ Ca و Mg أيضاً، في حين أن امتصاص العناصر غير الضرورية لم يتدنّ تقريباً بكربون التربة العضوي C_{org} ونتروجين البراعم العضوي N_{org} . وإضافة إلى عدة مصادر للمواد الحيوية الصلبة، كبح السهاد المخمر زيوس Zeus (C_{org} 42%) تكوين N_{org} في البراعم في أثناء تدهور

الاستهلاك النروجيني لسكر الهكسوز المتأصل فيه. ولم يشوَّش السهاد العضوي التناسب بين تراكيز نروجين البراعم العضوي المخمر والـ (Ca، Cd)، Mg، Ni، Zn، في حين أن امتصاص الـ Co، Cu، Mn كُتبت انتقائياً. ويُستنتج من ذلك أن المواد الصلبة الملوثة بالـ (Cd)، Co، Cu، Mn، Ni، Zn، وليس بمعادن خطرة ضئيلة التوافر أخرى، يمكن أن تُسخر لإنتاج المحاصيل النباتية من خلال نشر مواد صلبة حيوية معينة، ولإمداد محدود بالنروجين. ويجب أن يترافق إنتاج المحاصيل النباتية في تربة فقيرة بالمعادن الضئيلة التوافر بنشر أسمدة الـ NH_4 المحمّضة للتربة والمعززة لتكوين بروتينات النبات، إضافة إلى مصادر نروجين عضوي مُعدّنة بوسطاء NH_3 / NH_4^+ . ويجب تقييد نشر الكربون العضوي. ويُستنتج أيضاً أن التغيّرات في استقرار توازن معادن النبات بوجود عدة أسمدة تشير إلى دور محتمل لهرمونات نمو النبات الجرثومية التي تكون قد تكوّنت في أثناء التخمر الصناعي. ويمكن للسهاد العضوي المخمر أن يعمل أيضاً بوصفه متمماً مشابهاً للهيدروكربونات مع خواص تحريض احتجاز نروجين التربة، ومن ثمّ تقييد امتصاص النبات للنروجين العضوي والمعادن.

1- تقديم

يُعتبر إنتاج محاصيل زراعية ذات محتوى معدني متوازن تحدياً متزايداً في مناطق عدة. فسوء التغذيةية بمغذّيات أساسية مثل الحديد والأيودين والسيلينيوم والزنك يؤدي إلى مكشلات صحية خطيرة واسعة الانتشار في البشر والمواشي (Gibson 2006; Hotz and Brown 2004; Yang et al., 2007). إلا أن صحة وإنتاجية وقيمة المحاصيل الغذائية تسوء أيضاً بالفقر بالمغذّيات المكروية الناجم عن التربة القلوية (Fe, Mn, Zn) أو الحمضية (Mo) أم المستنزفة جيولوجيا (B, Co) (Marschner 1995; Mengel, 1991). فنحو 30% من تربة العالم الزراعية فقيرة بالزنك (Cakmak, 2008; Kochian, 2000).

وتُعتبر سُمية طعام المحاصيل الغذائية، الناجمة عن ملوِّثات بيئية من مثل الـ As، Cd، Cr، Cu، Hg، Pb والنوى المشعة (Radionuclides) مشكلة مقلقة أخرى. ينجم المفعول الضار لمركبات عدة عن قابليتها للتراكم في المتعضيات الحية (Ellen 2007; Islam et al., 1990; et al.). ويحصل انتشارها الواسع في العالم بواسطة الصناعات التعدينية (Wang and Lottermoser 2003; Petrison et al., 2004; Mulligan 2009) والصناعات النووية (Abdelouas et al., 1999; Macaskie et al., 1999).

(al., 1997) ، واستعمال الوقود الأحفوري (Bilos et al., 2001) ونشر الأسمدة الملوثة (Chen et al., 2005) ومواد الصرف الصحي الحيوية الصلبة (Adriano (Sikora and Enkiri 2001; 2001. وتُري التكاليف اللازمة لاستصلاح التربة في أوروبا فقط، والمقدّرة بـ 59-109 ترليون يورو (Commission of the European Communities 2002)، حجم المشكلة. ومع ذلك، فإن زراعة أجناس من النباتات المراكمة للمعادن أو المستبعدة لها (Baker, 1981) من أجل الاستهلاك والصناعة يمكن أن تساعد فوراً على توسيع الزراعة إلى مناطق ذات تربة حرجة. ففي المحاصيل الزراعية الأوروبية الشائعة، يختلف امتصاص المعادن الثقيلة فيما بين الأجناس المراكمة والمستبعدة بعامل يساوي 18 (Bergmann et al., 2006).

ليس معروفاً كيف تنظّم النباتات امتصاص المركبات المعدنية ونقلها إلى البراعم (Krämer et al., 2007; Xing et al., 2008). لكنّ ثمة وصف لمنظّمات حساسة للزئبق تكبت استنساخ الجينات المنخرطة في امتصاصه في حالة المتفطرة السُّلبيّة (Mycobacterium Tuberculosis) (Riccardi et al., 2008). وفي النبات ذي الأوعية، جرى تعريف التعبير الفائق للجينات (van de Mortel et al., 2006) والبروتينات (Arrivault et al., 2006; Verret et al., 2004) المرتبط بامتصاص الكادميوم والزنك. ومع ذلك يمكن لاستقرار توازن المعادن المحدّد جينياً في النباتات السليمة أن يحصل عبر نسبة الـ C:N في تربة معينة (Gramss et al., 2004). وبالنشر اليومي لكـ NH_4Cl في تراكيز غير تراكمية، أصبحت التربة حامضية باعتدال حين تكوين HCl و NHO_3 ، واحتوت على مزيد من الأيونات الموجبة الطليقة والمعقدات الحمضية المعدنية المتوافرة في النبات. وفي نفس الوقت، ازداد إنتاج الكتلة الحيوية في براعم الملفوف الصيني (وثنائيات الفلقة الأخرى) ذي النتروجين الكافي بمقدار 1.3-2 مرة، في حين أن محتواه من النتروجين العضوي وصل إلى عتبة ضارة تساوي نحو 4% من الوزن الجاف. أما تراكيز مجموع المعادن الانتقالية المقترنة بالبروتينات، أي (Cd)، Cu، Co، Mn، Ni، Zn، لكن ليس Fe، وأيضاً تلك الخاصة بـ Ca و Mg مع وظائفها التنظيمية النيوية والاستقلابية والإنزيمية (Mengel, 1991)، فقد ارتفعت وانخفضت خطياً تقريباً مع المحتوى من النتروجين العضوي (Gramss and Bergmann, 2008; 2009; 2006; 2004; et al.) وازدادت بنسبة وصلت حتى 7.5 مرة، وذلك تبعاً للزيادات في الوزن الجاف \times النتروجين العضوي (xNorg). وازدادت تراكيز المعادن غير الضرورية، ومنها Al، Ba، Cr، (Fe)، (K)،

Li, Na, Sr, Ti, U, V، بمقدار أكثر قليلاً من حالة الوزن الجاف، وذلك بقطع النظر عن النتروجين العضوي.

ومن أجل تقييد امتصاص النبات للمعادن الانتقالية (الثقيلة)، عُولِجَت التربة بهيدروكربونات مثل السكروز وزيت البذر. وأدى تدهورها الجرثومي إلى زيادات معتدلة في المؤشر الحمضي pH للتربة وفي استهلاك النتروجين. لذا كَوَّن النبات بروتينات أقل، ومن ثَمَّ قَلَّص امتصاص المعادن الانتقالية المقترنة بالبروتين. وزاد تزويد التربة بمخليات قوية، من مثل السيستين (Cysteine) (Gramss et al., 2009) أو السترات (Citrate)، بجرعات موافقة لجذر النبات من تحصيل الـ Co و Mn إلى تراكيز لا مغزى لها، على نحو مستقل عن النتروجين الطبيعي (Gramss and Bergmann, 2008). وزادت الاستعاضة عن NH_4-N بجرعات مكافئة موليًّا من النتروجين الإيثانولاميني (Ethanolaminic) أو الهيسثيديني (Histidine) من تركيز النتروجين العضوي إلى 150%. إلا أن مجموع المعادن الانتقالية المقترنة بالبروتين وصلت إلى 52% و 39% فقط من مستوى النتروجين العضوي المتوقع الذي جرى تكوينه (Gramss et al., 2006). وتضرَّر استقرار توازن معادن النبات أيضاً بمواد شبيهة بالهرمونات. وزاد رش الأوراق بـ 0.3% من الإيثانولامين امتصاص الـ Cd و Zn في أجناس بيتا (أي غير المتجانسة) (Bergmann et al., 2006). وزاد الرش المشترك للتربة بحمض ثلاثي أسيتات ديامين الإثيلين (Ethylenediaminetetraacetic Acid) (EDTA)، والأوراق بالسيتوكين (Cytokine)، من تراكيز الرصاص والزنك في براعم دوار الشمس إلى 890% في الحالة الأولى، وإلى 330% في الثانية، مقارنة بالنباتات غير المعالجة (Tassi et al., 2008).

وفي تجارب أولية، عُولِجَ امتصاص المعادن الثقيلة، في الملفوف الصيني المزروع في تربة غنية جداً بالمعادن، بتخميد التربة برمل بناء فقير بالمغذيات وسماد تجاري يُتَوَقَّع أن يعمل ممتازاً للمعادن الثقيلة. وفي حين أن امتصاص المعادن توافق مع موارد النتروجين في أمثلة التخميد بالرمل، انفصل تكوُّن النتروجين العضوي عن امتصاص المعادن الثقيلة كلياً بوجود السماد العضوي المخمر، إلا أنه لم يمكن تسجيل ارتباط المعادن الثقيلة بمادة الاستصلاح العضوية. ومن المعروف أن المواد الدُّبالية الممثَّلة بغرويات < 3500 دالتون تعبر أغشية خلايا النبات (Muscolo et al., 2007; Nardi et al., 2002) وتُظهِر أنشطة شبيهة بأنشطة الهرمونات التي تماثل

أنشطة الأوكسين (Auxin) وحمض الغيبرلين (Gibberellic Acid) (Muscolo et al., 2007; Zandonadi et al., 2007). وهي تتداخل مع إنتاج البروتينات البنيوية والإنزيمية (Carletti et al., 2008) ونمط امتصاص المغذيات (Varanini and Pinton, 2001).

لقد أُجريت الدراسة الحالية لعدة أنواع من السماد التجاري بغية تحديد تأثيرها في نمط امتصاص أو استبعاد المعادن الثقيلة بالاعتماد على إمداد النبات بالنتروجين وتكوين البروتينات. وُحِدَت تربة غنية جداً بالمعادن من منجم يورانيوم بأسمدة مختلفة أو برمل بناء وزُرعت بالملفوف الصيني. وُثِّمَتِ النبات في ظروف بيئية مختلفة، وحُلِّلَ بحث عن النتروجين العضوي وعن 23 مادة معدنية أساسية وغير أساسية بهدف استمثال إنتاج محاصيل ذات جودة عالية في تربة فقيرة بالمعادن ضئيلة التوافر أو الملوثة، مع قيم مختلفة للنسبة C:N فيها. وفي هذه المقالة، نقدّم نتائج تخص مصدرين للسماد بغية بيان محدوديات المفهوم. أما التغيّرات الحاصلة في محلول التربة وعواقبها في رشح المعادن الثقيلة فهي واردة في منشورات أخرى.

2- المواد والطرائق

1.2 مكونات مزيج التربة

تتصف تربة منجم يورانيوم في ستندورف (بشرق ألمانيا)، ورمل بناء أصفر (وكلاهما مغربل بغربال مقاس فتحته يساوي 2 ملّيمتراً)، وسماد فيشر بلو فيكس التجاري (من الشركة Terrasan GmbH, Ingolstadt, Germany) بالخواص الآتية (في كل مجموعة، العدد الأول للتربة، والثاني للرمل، والثالث للسماد):

pH_{aqu} , 7.09; 7.78; 6.67; C_{org} , 2.5; 0; 21.0 % (w/w); NH_4-N , 28.5; 0; 210; NO_3-N , 168; 0; 2155; N_{org} N, 1972; 0; 11450 $mg\ kg^{-1}$.

وكان محتواها من العناصر (مقدراً بـ $mg\ kg^{-1}$) الذي جرى تحديده بطريقة الاستخلاص بالماء الملكي (aqua regia) هو الآتي:

Al, 12095; 2676; 11220; As, 298; 3.9; 8.7; Ba, 68; 9.2; 188; Ca, 10005; 1192; 27500; Cd, 12; 0.2; 0.6; Co, 61; 0.7; 6.7; Cr, 23.6; 3.0; 37.3; Cu, 617; 12; 58.3; Fe, 20315; 1360; 13520; K, 4060; 426; 6370;

Li, 33.1; 0.7; 15.6; Mg, 6525; 794; 8630; Mn, 1132; 19; 712; Mo, 2.2; 0.6; 0.8; Na, 131.1; 21.6; 1084; Ni, 99; 2.6; 24.4; P, 930; 65; 2310; Pb, 117.1; 20.7; 40.3; Sr, 99.3; 13.8; 100.3; Ti, 109; 19.6; 288; U, 105.9; 2.5; 0; V, 42.4; 9.4; 26.5; Zn, 1245; 7; 168

مع تشتت معياري يقع بين 0 و 4.4% من الوسطي. وكان توزع مقاسات تربة سِتندورف كما يلي: 34.6% للمقاسات بين 0.2 و 2 مليمترًا، و 23.9% للمقاسات بين 0.032 و 0.2 مليمترًا، و 41.5% للمقاسات التي تقل عن 0.032 مليمترًا. وصُنفت التربة على أنها طينية. ومُزجت مكُونات التربة بغية تعديل محتواها النهائي من الكربون العضوي وفق الميّن في الجدول 1.

الجدول 1: تعديل C_{org} في تربة سِتردورف (2.5% وزن جاف) بنشر رمل بناء أو سهاد فيشر تجاري

نسبة C_{org} الناتجة	أجزاء من			
	سهاد عضوي	رمل	تربة	
2.5%، مقارنة	0	0	1000 mL	
^a 1.55%	0	380 mL	620 mL	ركائز من تربة ورمل بناء (حجم)
0.5%	0	800 mL	200 mL	
6.6%	222 g	0	778 g	ركائز تربة وسهاد عضوي (وزن)
9.5%	330 g	0	620 g	

^a استعملت العينة 1.55% بوصفها مادة مقارنة ثانية للعينة 9.5% بسبب تقارب نسبة تربة سِتندورف فيها.

2.2 زراعة الملفوف الصيني في أٌصص (خيار الزراعة F1)

مُئِلت ثلاثة أٌصص بلاستيكية، قطر الواحد منها يساوي 12 سنتيمتراً، بـ 0.5 ليترًا من مزيج التربة لكل منها، ورُطِّبت حتى نسبة 60% من مقدرتها على الإمساك الماء، وبُذِر في كل منها 9 بذور. واحتضنت الأٌصص في حاضنة مخبرية زراعية عند درجة الحرارة 18°C مدة 14 ساعة، وعند الدرجة 14°C مدة 10 ساعات، وتكرر ذلك في دورة نهائية ليلية، ورُويت بماء منزوع الأيونات. وعُولج 100 غرام (وزن جاف) من تربة مقارنة غير مزروعة بنفس الطريقة. وقُطفت النباتات بعد 34 يوماً من تفتُّح الفلقات، ووُزنت وجُفِّفت عند درجة الحرارة 105°C، ثم سُحِّقت.

3.2 تغيير مصدر السهاد وظروف التنمية

استُعمل سهاد تجاري آخر بدلاً من سهاد فيشر بغية تسجيل استجابة الملفوف الصيني للتغيُّرات في التعديل العضوي وفي الظروف البيئية. وحصلت أكبر الانحرافات في نباتات زُرعت في ظروف نهار قصير في بيت زجاجي (21°C) مدة 14 ساعة، و17°C مدة 10 ساعات) في تربة سِتندورف معدلة بسهاد زيوس (Zeus GmbH, Soltau, Germany). واحتوت ركيزة ألياف خشب السفغونوم (Sphagnum) نصف المتفحم (pH 5.6) على 42% (نسبة وزنية) من الكربون العضوي، وكانت تراكيز النبات المتوفرة (مقدرة بـ mg/kg): نتروجين 880، بوتاسيوم 1030، فوسفور 380.

وفي دراسة حالة، حُفِّفت كميّتان متماثلتان من تربة سِتندورف (2.5 % C_{org}) إلى 1.55% برمّل بناء (قارن الجدول 1) وأُغْنيت حتى 6.6% بسهاد زيوس. وحصلت تجاوز الفروقات الموجودة في تراكيز البوتاسيوم والفوسفور والنتروجين المتوفرة في النبات بالتسميد المعدني بفوسفات البوتاسيوم وNH₄Cl (انظر مقطع النتائج).

4.2 الهضم المضغوط لنسيج النبات في فرن المايكروويف

هُضمت عينات متماثلة من براعم النبات المسحوق (300 مليّ غرام) أو جذوره (80 مليّ غرام) من جميع الأٌصص، وذلك باستعمال نموذج الهضم المضغوط بالمايكروويف (Pressurized Microwave Digestion) (PMD) من الشركة Kümer (Rosenheim, Germany). ووُضعت العينات في 2 مليّ لتر

من (65%) HNO₃ مع 0.5 لتر من (32%) HCl مدة 10 دقائق وحُلِّل محتواها من العناصر .

5.2 تحديد العناصر طيفياً

حُدِّدت مقادير العناصر في العينات باستعمال مطياف الانبعاث البلازمي الذري المقرون تحريضياً Inductively coupled plasma-atomic emission spectroscopy (ICP-AES) (Varian Australia Pty Ltd., 150 ليبرتي Mulgrave, Australia). وأُجريت معايرة الجهاز بالمحلول المعدني القياسي Spec 25 (Spex CertiPrep, Metuchen, Netherlands). وأُضيف اليورانيوم بنسبة 10 mg/L على شكل نترات اليورانيل (UO₂(NO₃)₂·6H₂O).

6.2 مركبات النتروجين

استُخرجت عينات تربة مضاعفة (1-4 غرام وزن جاف) بواسطة 0.1 مول من KCl عند 25°C وهزها مدة 1 ساعة. واستُعملت المادة الطافية بالترد المركزي (14000 g، 3 دقائق) لتحديد الـ NH₃/NH₄ بمحلول اختبار أمونيوم أكوامرك (Aquamerck). وحُدِّدت النترات كميّاً بالقياس الطيفي عند موجة طولها 210 نانومترًا مقارنة بعينة نظيفة أُرجعت بحبيبات زنك مطلية بالنحاس (Schinner et al., 1993). وحُدِّد النتروجين العضوي في غرام واحد من التربة أو في عينات 250 ملي غراماً من النبات بطريقة كُجلدال (Kjeldahl Method) المعدلة، وذلك باستعمال 5 ملي ليترًا من كل من H₂O₂ (30%)، وH₂SO₄ (96%) بوجود 0.5 غراماً من محفِّز كُجلدال (Fluka).

7.2 تحديد السكريات القابلة للذوبان في الماء في مستخلصات من التربة والسهاد العضوي المخمر

استُعملت المستخلصات المائية المذكورة للقياسات الكمية بالطرائق اللونية لسكر البنروز والهكسوز والسكريدات الأوليغومرية ومشتقاتها الميثيلية (Dubois et al., 1956). تُرك مزيج تفاعلي يتكوّن من 0.2 ملي ليترًا من مستخلص مائي، و0.2 ملي ليترًا من محلول فينول مائي بنسبة وزنية تساوي 5%، و1 ملي ليترًا من H₂SO₄ مركز، ليتفاعل عند 25°C مدة 10 دقائق. وجرى تحديد الامتصاص عند طول الموجة 490 نانو مترًا، وقورن بعينات نظيفة حل فيها الماء محل مستخلص التربة. وحُدِّدت

ذرى الامتصاص منفردة لكل من المستخلص والعينة النظيفة بالمسح الطيفي للتمييز بين الذرا عند 480 نانو متراً (للبننوز وميشيل البننوز والحموض اليورانية Uronic Acid)، و485-490 نانو متراً (للهكسوزات ومشتقاتها الميثيلية). وأجريت المعايرة باستعمال محاليل سكروز مائة تراكيها تساوي 10 و50 و150 ملي غراماً/ليترًا.

8.2 الحسابات الإحصائية

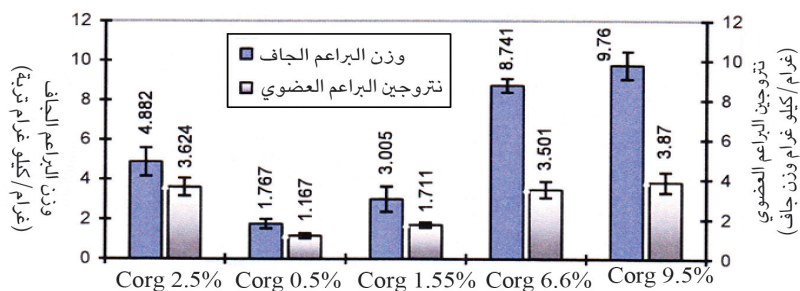
استُعملت البرمجيات SPSS 8.0 لحساب الانحراف المعياري لنتائج الأُصص الثلاثة، والترابطات الخطية، ولإجراء تحليل منفصل وحيد الاتجاه للنتائج.

3- النتائج

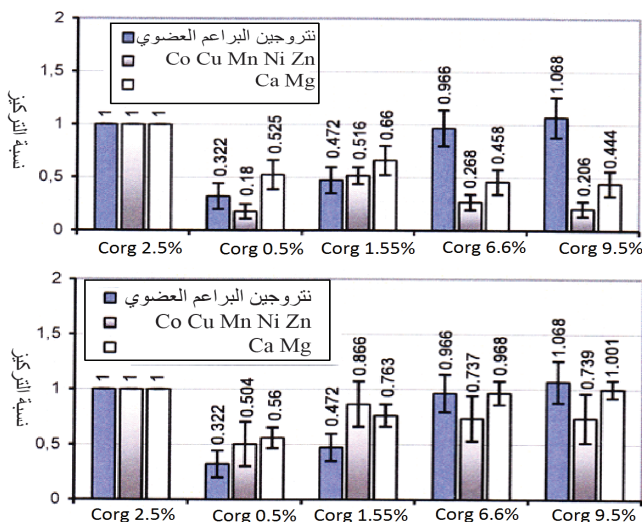
1.3 استقرار توازن المعادن في براعم الملفوف الصيني المنمى في حاضنة زراعية في عينات من سهاد فيشر

نُضِب الملفوف الصيني موارد النتروجين المعدنية الشديدة الاختلاف من ركائز الجذور الخمس التي تتكوّن من سهاد فيشر (قارن بالمقطع 1.2) خلال فترة التنمية التي دامت 34 يوماً. وبسبب مفعول النتروجين المقيد للنمو، ترابط كل من إنتاج الوزن الجاف ($r = 0.994$) ونسبة N_{org} ($r = 0.886$) لنسيج الجذور (الشكل 1) مع المجموع $NH_4-N + NO_3-N$. وفي التربة الفقيرة عضويًا التي فيها $C_{org} - 2.5\%$ ، انخفضت وارتفعت معدّلات امتصاص البراعم لمجموعة العناصر الضرورية فيزيولوجياً $Co, Cu, Mn, Ni, Zn, Ca, Mg$ ، ومعدّلات الانتقال إليها تقريباً مع تفاوتات N_{org} في البراعم (الجدول 2 والشكل 1.2؛ قارن بنتائج Gramss et al., 2006; 2009). إلا أن نباتات من تربة $C_{org} 6.6\%$ و $C_{org} 9.5\%$ مستصلحة بالسهاد العضوي المخمر ناقضت هذا المبدأ. ويمكن توضيح ذلك بمقارنة نباتات الترتين $C_{org} 6.6\%$ و $C_{org} 9.5\%$ بأجزاء ماثلة من تربة سيندورف. وفي المحلول المائي للتربة $C_{org} 9.5\%$ ، وصل التركيزان في مجموع $Co, Cu, Mn, Ni, Zn, Ca, Mg$ إلى 104% و 192% في التربة $C_{org} 1.55\%$ (البيانات غير مدرجة). ومقارنة نباتات من التربة الفقيرة عضويًا، احتوت تلك التي من $C_{org} 9.5\%$ تركيزاً مضاعفاً بـ 2.3 مرة في نتروجين البراعم العضوي، و 40% و 67% في مجموع المعادن الانتقالية الخمسة وفي Ca و Mg (الشكل 1.2). وفي نفس الوقت، كان امتصاص Na, K, Fe ومعظم العناصر غير الأساسية في الترتين $C_{org} 1.55\%$ و $C_{org} 9.5\%$ مستقلاً تقريباً عن C_{org} التربة و N_{org}

البراعم، إلا أنه تضرر بمفاعيل تخفيف التربة في الحالة 0.5 C_{org} % (الشكل 2.2). وكان سلوك مجموعة المعادن الانتقالية الأساسية هنا متماثلاً (الشكل 1.2). وترافقت تراكيز العناصر الأساسية في نباتات التربة المستصلحة بالسماد العضوي المخمر، التي انخفضت جذرياً، بنسب انتقال S/R من الجذور إلى البراعم منخفضة جداً، وأيضاً بترام Na من المتمم السمادي (الجدول 2).



الشكل 1: إنتاج الوزن الجاف (g kg⁻¹ من التربة) ونسبة Norg (g kg⁻¹ من الوزن الجاف) في براعم الملفوف الصيني المزروع في تربة ستندورف ذات محتوى Corg المعدل برملم بناء أو سماد فيشر. تشير قضبان الخطأ إلى مجالات الثقة بنسبة 95%.



الشكلان 1.2 و 2.2: التغيرات النسبية في تركيز النتروجين العضوي Norg في البراعم، وفي مجموع المعادن الانتقالية المقترنة بالبروتينات، والمغذيات الأساسية الضرورية Ca و Mg (الشكل 1.2)، وفي Fe، Na، K، ومجموعة العناصر غير الأساسية، مرتبة في فئات للتركيز (الشكل 2.2). وقُسمت تراكيز جميع مجموعات العناصر على تلك التي في النبات المزروع في تربة Corg 2.5% التي اعتُبرت مرجعاً (1.0±0). قارن القيم المطلقة في الجدول 2. تشير قضبان الخطأ إلى مجالات الثقة 95%.

الجدول 2: تراكيز العناصر (وزن جاف mg kg^{-1}) في نسيج البراعم (S) وجذور النبات (R) للمفوف صيني عمره 34 يوماً نُمِّي في حاضنة مخبرية في تربة يستندورف ذات C_{org} معدلة برمل بناء وسهاد فيشر (الجدول 1). هي حاصل قسمة نسبة تركيزي البراعم والجذور مقسومة على نظيرتها لنبات من تربة فيها $C_{\text{org}} 2.5\%$.

$C_{\text{org}} \%$	2.5		0.5		1.55		6.6		9.5	
	S	S/R	S	S/R	S	S/R	S	S/R	S	S/R
مغذيات كبيرة										
Ca	34292 (100)	1.000	19930 ^a (58.1)	0.974	23644 ^a (68.9)	1.178	17014 ^a (49.6)	0.551 ^c	16819 ^{ab} (49)	0.651 ^c
K	38354 (100)	1.000	21839 ^a (56.9)	0.848	29619 ^a (77.2)	1.101	34379 (89.6)	1.045	34925 ^b (89.6)	1.183
Mg	11436 (100)	1.000	4088 ^a (35.7)	0.641 ^c	6552 ^a (57.3)	0.679	3953 ^a (34.6)	0.414 ^c	3476 ^b (30.4)	0.428 ^c
P	6392 (100)	1.000	5525 ^a (86.4)	0.850	5132 ^a (80.3)	0.905	4597 ^a (71.9)	0.660 ^c	4393 ^{ab} (68.7)	0.635 ^c
مغذيات صغيرة										
Co	1.204 (100)	1.000	0.531 (44.1)	1.583	1.079 (89.6)	1.900	0.897 (74.5)	1.850	0.682 (56.6)	1.900
Cu	78.86 (100)	1.000	26.04 ^a (33)	0.398 ^c	43.63 ^a (55.3)	0.755 ^c	21.64 ^a (27.4)	0.572 ^c	13.66 ^{ab} (17.3)	0.406 ^c
Fe	413.0 (100)	1.000	201.6 (48.8)	0.990	306.1 (74.1)	0.932	274.0 (66.3)	0.874	239.3 (57.9)	0.868
Mn	2483 (100)	1.000	40.39 ^a (16.3)	0.700 ^c	107.3 ^a (43.2)	0.737 ^c	64.97 ^a (26.2)	0.474 ^c	50.61 ^{ab} (20.4)	0.304 ^c
Na	1537 (100)	1.000	436.9 ^a (28.4)	0.638 ^c	1012 ^a (65.8)	0.924	4812 ^a (313)	1.974	5792 ^{ab} (12.7)	2.368 ^c
Ni	12A5 (100)	1.000	2.831 ^a (22.7)	0.625	9.352 ^a (75.1)	1.500	1.444 ^a (11.6)	0.263	1.585 ^{ab} (12.7)	0.714

Zn	707.5 (100)	1.000	119.2 ^a (16.8)	0.697 ^c	379.8 ^a (53.7)	1.376	192.0 ^a (27.1)	0.829	147.7 ^{ab} (20.9)	0.759 ^c
عناصر غير أساسية										
Al	523.5 (100)	1.000	642.8 (123)	1.174	546.7 (104)	0.982	556.4 (106)	1.074	448.0 (85.6)	1.162
As	0.324 (100)	1.000	0.423 (131)	1.350	0.187 (57.7)	1.624	0.460 (142)	1.760	0.422 (130)	3.843
Cd	10.52 (100)	1.000	3.547 ^a (33.7)	0.691	6.856 ^a (65.2)	1.343	2.524 ^a (24)	0.740	1.835 ^{ab} (17.4)	0.693
Cr	8.540 (100)	1.000	0.778 ^a (9.1)	0.127	8.580 (100)	3.015	4.323 (50.6)	0.635	8.446 (98.9)	1.270
Pb	0.748 (100)	1.000	0.872 (117)	1.425	0.777 (104)	1.689	1.345 (180)	1.727	1.029 (138)	3.167
U	1.576 (100)	1.000	0.256 ^a (16.2)	0.060	0 (0)	0	1.135 (72)	0.688	0.492 (31.2)	0.393

a: القيم الوسطية مختلفة كثيراً ($p \leq 0.05$) عن تلك الخاصة بعينات البراعم المرجعية من التربة 2.5% Corg.

b: القيم الوسطية لعينات البراعم من تربة 9.5% C_{org} مختلفة كثيراً ($p \leq 0.05$) عن تلك الخاصة بعينات البراعم المرجعية من التربة 1.55% Corg مع نفس النسبة من تربة سِتْدورف.

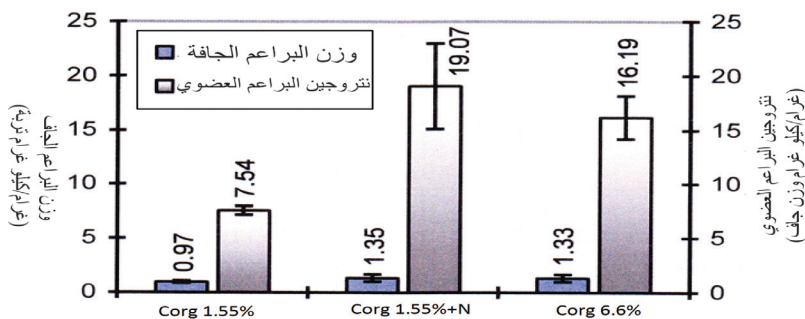
c: النسب S/R مختلفة كثيراً ($p \leq 0.05$) عن تلك الخاصة بنباتات من التربة 2.5% Corg.

(): تراكيز بنسبة مئوية من القيم المقابلة لنسيج البراعم من تربة 2.5% Corg.

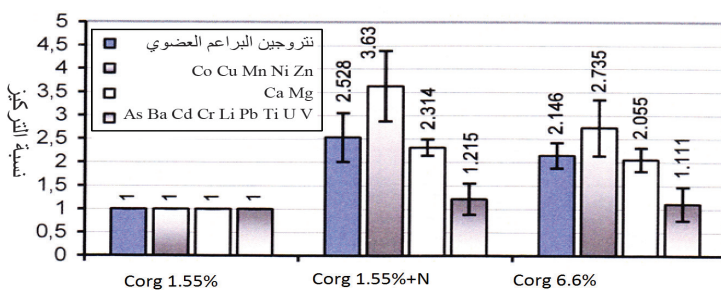
تراكيز العناصر الشائعة في المادة الخضراء (mg kg^{-1} وزن جاف) (Schachtschabel et al., 1998) As, 0.01-1; Cd, 0.050-4; Cr, 0.1-1; Cu, 2-20; Ni, 0.1-3; Pb, 0.1-100; U, 0; Zn, 10-100 mg kg^{-1} وزن طازج): As, 0.2-0.5; Cd, 0.1; Pb, 0.25-0.3.

2.3 استقرار توازن المعادن في براعم الملفوف الصيني المنمى في بيت زجاجي في عينات من سباد زيوس

في حالة ركائز من نسب متساوية من تربة سِتندورف وبوتاسيوم وفوسفور قابلين للذوبان في الماء في جميع حالات التربة، إضافة إلى تراكيز نروجين معدنية متساوية في حالتين من التربة (الجدول 3)، كان امتصاص العناصر الأساسية في عينة سباد زيوس C_{org} 6.6% أقل كَبْتاً بكثير من حالة وجود سباد فيشر (الجدول 2).



الشكل 3: إنتاج الوزن الجاف (g kg⁻¹ من التربة) ونسبة (Norg g kg⁻¹ من الوزن الجاف) في براعم الملفوف الصيني المزروع في ظروف بيت زجاجي مختلفة على ركيزتي رمل بناء (Corg 1.55%) وسباد زيوس (Corg 6.6%) مستصلحتين مع نسبتين متساويتين من تربة سِتندورف. ونُشرت أسمدة معدنية بمستوى التراكيز الابتدائية للفوسفور والبوتاسيوم المتوفرين في النبات (في جميع حالات الركائز) والنروجين (في الحالتين Corg 1.55%+N و Corg 6.6%). وتشير قضبان الخطأ إلى مجالات الثقة 95%.



الشكل 4: التغيرات النسبية في تركيز النروجين العضوي Norg في البراعم، وفي تراكيز مجموع المعادن الانتقالية المقترنة بالبروتينات، والمغذيات الكبيرة الضرورية Ca و Mg، وفي العناصر الضئيلة الأثر غير الأساسية. واعتُبرت التراكيز النباتية في الحالة Corg 1.55% مرجعاً (1.0±0). قارن القيم المطلقة في الجدول 3. تشير قضبان الخطأ إلى مجالات الثقة 95%.

وفي البيت الزجاجي، كَوَّنت النباتات قليلاً من الكتلة الحيوية، ولذا كان N_{org} أكثر في نسيج البراعم (الشكل 3). وفي ركيزة تربة سِتْدورف والسماد العضوي المخمر، مقارنة بركيزة سِتْدورف والرمل، اللتين احتوتا على نسبتين متساويتين من النتروجين المعدني الابتدائي، لم يكن إنتاج N_{org} القليل مهماً، إلا أنه شوهد مراراً في اختبارات المقارنة. وتَرافقت التراكيز البرعمية الكلية لمجموعات المعادن الانتقالية المقترنة بالبروتينات المعدنية، ولد Ca و Mg حينئذٍ بتفاوتات في N_{org} ، في حين أن امتصاص المعادن الضئيلة الأثر غير الأساسية بمجمله لم يتأثر عملياً (الشكل 4).

الجدول 3: تراكيز عناصر منتقاة ($mg\ kg^{-1}$ وزن جاف) في نسيج البراعم (S) وجذور النبات (R) للمفوف صيني عمره 34 يوماً نُمِّي في ظروف بيت زجاجي. حُفِّت نسب متساوية من تربة سِتْدورف ($C_{org} 2.5\%$) إلى $C_{org} 1.55\%$ برمل بناء، وأُغْنيت حتى $C_{org} 6.6\%$ بسماد زيوس (قارن الشكلين 3 و4).

الحالة	$C_{org} 1.55\%$	$C_{org} 1.55\% + N^a$	$C_{org} 6.6\%^a$
نتروجين البراعم العضوي	(100)	(253)	(215)
مغذيات كبيرة			
Ca	13214 (100)	31135 ^b (236)	29059 ^b (220)
Mg	3113 (100)	6638 ^b (213)	4491 ^{bc} (144)
مغذيات صغيرة			
Co	0.863 (100)	1.199 (139)	0.048 ^{bc} (5.60)
Cu	13.26 (100)	27.49 ^b (207)	18.69 ^{bc} (141)
Fe	80.64 (100)	68.83 (85.4)	97.70 (121)
Mn	68.44 (100)	141.2 ^b (206)	70.28 ^c (103)

2424 ^b (147)	2622 ^b (159)	1654 (100)	Na
10.31 ^b (262)	14.16 ^b (360)	3.929 (100)	Ni
425.5 ^b (404)	512.1 ^b (486)	105.4 (100)	Zn
عناصر غير أساسية			
10.70 ^b (238)	12.94 ^b (288)	4.488 (100)	Cd
9.275 (101)	10.11 (110)	9.214 (100)	U

a: تراكيز نروجين معدني متساوية حين البذار.
b: تختلف القيم الوسطية كثيراً ($p \leq 0.05$) عن تلك التي في الحالة $C_{org} 1.55\%$.
c: القيم الوسطية للحالة $C_{org} 6.6\%$ تختلف كثيراً ($p \leq 0.05$) عن تلك التي في الحالة $C_{org} 1.55\% + N$.

(c): تراكيز بنسبة مئوية من القيم المقابلة لنسيج براعم الحالة $C_{org} 1.55\%$.

الجدول 4: تركيز سكريات الهكسوز والانزياح في pH في تربة سِتندورف C_{org} 2.5% وسماذ زيوس 42% C_{org} ومزيج من تربة سِتندورف وسماذ زيوس C_{org} 6.6% حين التخزين عند $18^\circ C$ لمدة 106 يوماً.

42		6.6		2.5		$C_{org} \%$
انتهائي	ابتدائي	انتهائي	ابتدائي	انتهائي	ابتدائي	
74.1 ^a	130.1	16.1 ^a	26.9	10.7 ^a	20.1	مكافئ السكروز ($mg\ kg^{-1}$)
7.23 ^a	7.05	6.91 ^a	7.06	6.95	7.05	pH _{aqu}
6.88 ^a	6.76	6.57	6.66	6.57 ^a	6.71	pH _{CaCl2}

a: تختلف القيم الانتهاية كثيراً عن الابتدائية ($p \leq 0.05$).
وفي ما يخص الحالة $C_{org} 1.55\%$ ، كانت زيادات تراكيز معظم المعادن الأساسية

في الحالة $C_{org} 1.55\% + N$ من رتبة تلك التي للـ N_{org} ، في حين أن Zn ازداد كثيراً (الجدول 3). واقتصرت تأثيرات كبح امتصاص النبات للسماد العضوي في الحالة $C_{org} 6.6\%$ على Mn Cu و Co.

3.3 نقص سكريات الهكسوز في عينات تربة ستندورف غير المزروعة وسماد زيوس

أدت الحضانة في تربة ستندورف غير مزروعة وسماد زيوس وتشكيلة منهما (غربال مقاس فتحته يساوي 2.6 ملي متراً) مدة 106 يوماً إلى نقص في سكريات الهكسوز وإلى انزياح طفيف في الـ pH (الجدول 4). وفي حين أن الركائز التي تهيمن عليها التربة غدت أكثر حموضة، فإن سمد زيوس أبدى انحيازاً واضحاً نحو القلوية.

4- مناقشة

1.4 امتصاص المفلوف الصيني للمعادن من عينات التربة، $C_{org} 0.5, 1.55, 2.5\%$

خففت معالجة تربة ستندورف برمل سليكات ذي تركيز معدني مهمل (المقطع 1.2) تركيزي المعادن والنروجين تدريجياً حتى 62% و 20%، وأعطت نباتات أصغر ذات محتوى من N_{org} أقل (الشكل 1). وفي حالة المعالجة $C_{org} 1.55\%$ ، عبّرت التراكيز البرعمية لـ N_{org} والمعادن الانتقالية الأساسية و Ca و Mg عن مستوى المغذيات المنخفض المساوي لـ 62% (الشكل 1.2)، في حين أن امتصاص المعادن غير الأساسية لم يتناقص عملياً (الشكل 2.2). وهذا لم ينطبق بتفاصيله على معالجة $C_{org} 0.5\%$ بـ 20% من مكونات التربة الأصلية. وصنع النبات مزيداً من الموارد المفقودة فعلاً، وزاد N_{org} نسبياً حتى 150%، وزاد مجموعات الـ Ca و Mg، والعناصر غير الأساسية حتى 250%. واستقرت تراكيز المعادن الانتقالية المقترنة بالبروتينات في البراعم عند مستوى الـ 20% (الشكل 1.2).

وكشف مستخلص التربة المعالجة $C_{org} 0.5\%$ أن التراكيز القابلة للذوبان في الماء من مجموعة المغذيات الكبيرة والمعادن الضئيلة الأثر ذات التركيز الأقل أعطت نحو 40% من القيم لتربة ستندورف $C_{org} 2.5\%$ غير المستصلحة (البيانات غير مدرجة). وهذا يعني أن ثمة في نفس الحجم من ماء التربة نسبة أعلى نسبياً من المعادن الذائبة، في حين أنه في حالة التربة $C_{org} 2.5\%$ رسبت المعادن بعضها بعضاً من محلول تربة

مشبع (Cotton et al., 1987; Gramss et al., 2005). وفي حالة المعالجة C_{org} 0.5%، نجمت معدلات امتصاص النبات العالية نسبياً لـ Ca و Mg والعناصر غير الأساسية ببساطة من تراكيز المعادن المرتفعة في محلول التربة (Bell et al., 1991; Tyler and Olsson, 2001).

لا يمكن حالياً تفسير سبب ازدياد التراكيز البرعمية في الملفوف الصيني للمعادن غير الأساسية، التي لا يخضع امتصاصها لسيطرة الـ N_{org} (Gramss et al., 2009; 2006)، إلى مستوى عالٍ على نحو متجانس في جميع حالات المعالجة. هذا يعني أن تحميد التربة من أجل تقليص امتصاص النبات للمعادن السامة ليس فعالاً. يُضاف إلى ذلك أن التراكيز العالية لـ $Ca^{2+} > Mg^{2+} > K^{+} > Na^{+}$ ترسب المعادن وربيطاتها الدُّبالية من محلول التربة المشبع (Gramss et al., 2005). لذا، حين تسميد التربة المفرط بتلك العناصر، يجب استبعاد المعادن الأساسية الضئيلة التوافر، التي تفتقر إليها التربة من المحلول من أجل منع انتقالها بمقادير كبيرة.

2.4 امتصاص المعادن في الملفوف الصيني من عينات تربة مستصلحة بسماذ فيشر

أدخل إغناء تربة سِتندورف بسماذ فيشر حتى C_{org} 6.6% و C_{org} 9.5% تراكيز منخفضة فيها لمعادن ضئيلة الأثر، وقيماً عالية من C، K، Mg، Na، P، NO_3-N في ركيزة الجذر (المقطع 1.2) وازدادت كتلة النبات الحيوية، ولم يحصل ذلك في N_{org} (الشكل 1)، برغم أن مجموع موارد النتروجين المعدني القابلة للذوبان في الماء في الحالتين C_{org} 6.6% و C_{org} 9.5% وصل في البداية إلى 345% و 520% من تلك التي في التربة C_{org} 2.5% (المقطع 1.2؛ الجدول 1). يُضاف إلى ذلك أن المقادير الكلية لـ N_{org} في براعم النباتات الكبيرة كانت أيضاً أقل كثيراً من أن تتطابق مع الإمداد الأولي بنتروجين التربة. وكانت تراكيز الغرويات الدُّبالية القابلة للاستخلاص بالماء والموجودة بنسبة 526 mg kg^{-1} لكل 1% من C_{org} في سماذ فيشر أقل منها في تربة سِتندورف ذات الـ 894 mg kg^{-1} (البيانات غير مدرجة). لذا بقي C_{org} سماذ فيشر في حالة ليغنوسللوذية بالدرجة الأولى. وبذلك بقيت معادن تربة سِتندورف الضئيلة التوافر في المحلول ولم ترتبط بالمتمم السماذي ضمن مدة الاختبار التي دامت 34 يوماً، ولم ترسب بواسطة القواعد القابلة للمبادلة لـ K و Mg و Na (Gramss et al., 2005) التي وفرها سماذ فيشر (انظر المقطع 1.3). وبذلك أخفق السماذ في أن يعمل ممتزاً.

لكن المفاجئ هو أن تراكيز المعادن الانتقالية المقترنة بالبروتينات المعدنية في البراعم، إضافة إلى الـ Ca و Mg، في النباتات المزروعة في تربة مستصلحة، كانت أقل منها في النباتات الفقيرة بـ N_{org} المأخوذة من تربة C_{org} 1.55% بنفس نسبة تربة سِتندورف، في حين أن تراكيز العناصر غير الأساسية لم تتغير هنا أيضاً (الشكلان 1.2 و 2.2) (Gramss et al., 2006; 2009). ونظراً إلى وجود سهاد فيشر، نقصت فقط بمقدار 28% و 19% من مجموع Co و Cu و Mn و Ni و Zn التي يجتذبها النبات عادة بقدر مقارب لـ N_{org} من تربة سِتندورف غير مستصلحة.

لا يمكن عزو هذا النمط الكابح للامتصاص إلى تأثيرات التنافس الأيوني (Schachtschabel et al., 1998). فقد كان محتوى البراعم من Al و Ca و Fe و Mg و Zn أصغر كثيراً منه في نباتات من تربة المقارنة C_{org} 1.55% و C_{org} 2.5% (الجدول 2). أما تركيز Na البرعمي المشتق من السهاد العضوي المخمر فهو الوحيد الذي ازداد. وفي النباتات الممتة بوجود سهاد زيوس (الجدول 3)، لم يُعزَ امتصاص الـ Na إلى كبح امتصاص العناصر الأخرى.

3.4 امتصاص المعادن في الملفوف الصيني المعدل بسهاد زيوس

مثل الملفوف الصيني المزروع في تربة سِتندورف المستصلحة بسهاد زيوس نقطة علام أخرى في استجابته للأسمدة التجارية التي اختُبرت. فقد أظهر سهاد زيوس، الذي يحتوي على 42% من C_{org} ، مع 227 mg kg^{-1} من غرويات دُّبالية قابلة للاستخلاص بالماء لـ 1% من C_{org} ، أدنى حالة من التحوُّل الجرثومي. وفي المقارنة المباشرة لركائز ذات 62% من تربة سِتندورف وتراكيز معدلة من (N) و K و P قابلة للانحلال في الماء (المقطع 3.2)، تفاوتت التراكيز البرعمية للمعادن الانتقالية المقترنة بالبروتينات والـ Ca و Mg مع التغيرات في N_{org} ، في حين أن امتصاص العناصر غير الأساسية لم يتغير هنا مرة أخرى (الشكلان 3 و 4). وعلى غرار حالة سهاد فيشر، قصرت تربة سِتندورف المستصلحة بسهاد زيوس امتصاص الـ Co و Cu و Mn (الجدول 3) على 5 و 80 و 59% من تراكيزها في نباتات من $C_{org} + N$ 1.55%، على أساس مستوى مساوٍ من N_{org} . إن الاقتران الوثيق لـ Co و Cu بالكربون العضوي عموماً يوحي بامتزاز المتم السهادي، إلا أنه لم يمكن تسجيل الارتباط بالغرويات الدُّبالية القابلة للاستخلاص بالماء ضمن فترة المعالجة التي دامت 34 يوماً (البيانات ليست مدرجة).

4.4 الخلافات إزاء دور السماد العضوي المخمر في منظومات التربة والنبات

تفكك السكروز المنشور في التربة بواسطة حمض الكربوكسيل أثناء استهلاك H^+ (Barekzai and Mengel, 1993) وتحرير OH^- (Perez and Jeffries, 1992) وأدى بعد أكسدة الزيت إلى زيادة الـ pH النهائية (Gramss et al., 2003; 2004). وخضع انحياز سمد زيوس المخزون على ما يبدو نحو القلوية إلى نفس القواعد وعُزي إلى استهلاك سكريات الهكسوز (الجدول 4). وقد تكون المنافسة الحتمية على NO_3^- -H من قبل الجراثيم المعنية (Myrold and Posavatz, 2007) السبب الرئيسي للإمداد الأقل من الأمثلي بالنروجين للملفوف الصيني المنمى في السماد (الشكلان 1 و 3) مقارنة بنباتات من تربة معدنية ذات $C_{org} 1.55\%+N$. وضمن ظروف مشابهة، كان النتروجين المنشور بوصفه مكوناً سمادياً أقل وفرة في النبات من نتروجين الأسمدة المعدنية (Sikora and Enkiri, 2001).

لقد أكدت إحدى الدراسات المرجعية وناقضت الترافق الواسع، لتأثيرات الأسمدة المشتقة من حُثّ السفغونوم في سمدٍ فيشر وزيوس المنشورين في محلول التربة، وامتصاص الملفوف الصيني للمعادن. ويمكن عزو ذلك إلى التنوع الشديد في تركيب وحالة تخمّر مضافات الاستصلاح العضوية المستعملة. وحصلت زيادات pH التربة بنشر سماد عضوي مخمر من روث حيواني ومخلفات صرف صحي أدت إلى تخفيض تراكيز Cu و Mn و Zn في براعم النبات (Walker et al., 2004) وجعل Cu و Mn و Pb أكثر قابلية للاستخلاص (Jordão et al 2006). وحصلت انخفاضات pH التربة باستعمال ما يصل إلى 300 طن للهكتار من السماد العضوي المخمر (Shuman et al., 2001)، وبسماد عضوي مخمر من بقايا زيتون عزز امتصاص النبات لـ Cu و Mn و Zn ذات تراكيز سامة له (Walker et al., 2004). وحسّن تانغ وآخرون (Tang et al., 2009) المردود ونسبة الـ Cu في القمح على نحو أكثر كفاءة بسماد نباتي غني بالـ Cu من حالة استعمال سماد ذي Cu معدني. وسجّل يانغ وآخرون (Yang et al., 2005) معدلات عليا من امتصاص Cu من تربة رز، وليس من تربة منجم Cu بعد نشر 5% من السماد العضوي المخمر. وفي محاولة لاستصلاح مواقع حضرية ملوثة بمعادن ثقيلة، اضطر فانغروسفيلد وآخرون (Vangronsveld et al., 2000) إلى إضافة مسمم سمادي مخمر بنسبة 5% مع سليكات الألمنيوم والبرينغايت

(Beringite) وبرادة الفولاذ من أجل الحد من رشح Cu و Pb و Zn. وفي نفس الوقت، بقيت التغيرات في امتصاص النبات للمعادن غير ذات أهمية. وأيدت نتائجهم ملاحظة أن الاستصلاح بالسماد المخمر سهل انتقال المعادن الثقيلة من قابلة للذوبان في الماء وقابلة للمبادلة، إلى أكسيد منغنيز وأكسيد حديد غير متبلور متبقين في التربة. (Hashimoto et al., 2008; Herencia et al., 2008; Shuman et al., 2001). وبذلك يمكن لربيطات من مثل الحموض الدبالية والحنطية (Fulvic) المشتقة من الحموض الكربوكسيلية أن تعمل عمل مكوك بين مواقع ربط المعادن الثقيلة. ويمكن في النهاية للفروق بين المحتوى من الهيدروكربونات سهلة التوافر ومركبات النتروجين المُعدنة ومجموعات الجراثيم المهيمنة أن تحدّد اتجاه انزياح الـ pH، والتركيبة الناتج لمحللول التربة، وحالة الـ N_{org} في النبات والنمط الناتج لفصل المعادن (Gramss et al., 2004; 2006; 2009; Gramss and Bergmann, 2008).

ويشير الكبت الشديد لامتصاص المعادن الانتقالية الأساسية من قبل نباتات الملفوف الصيني ذات الـ N_{org} الكافي والمزروعة بوجود سمد فيشر (الشكل 1.2)، والهستيدين (Histidine) والإيثانولامين (Ethanoline)، المضافين إلى التربة (Gramss et al., 2006)، إضافة إلى تحفيز فصل المعادن برش الأوراق بالسيتوكين (Cytokine) (Tassi et al., 2008) وآثار من الإيثانولامين (Bergmann et al., 2006)، إلى تدخل من مواد شبيهة بالهرمونات (Muscolo et al., 2007; Zandonadi et al., 2007). وقد تكون تلك المواد قد تكوّنت في عملية تخمير المتمم السمادي التجاري. إلا أن انخفاض نسب S/R الواضح لـ Ca و Cu و Mg و Mn و Zn في النباتات المعالجة بالسماد العضوي، التي تحدّد كميّاً معدلات انتقالها كميّاً من الجذر إلى البراعم (الجدول 2)، يجب ألا يوصف مباشرة بأنه محكوم بالهرمونات. فنسب S/R منخفضة حصلت في نباتات من تربة 0.5% C_{org} و 1.55% C_{org} أيضاً.

5- خلاصة

مع ظهور سمد فيشر التجاري المخمر، انعكست العلاقة بين محتوى البراعم من N_{org} والامتصاص المتناسب لمجموعة المعادن الانتقالية المقترنة بالبروتينات Cu و Co و Mn و Ni و Zn، إضافة إلى Ca و Mg، انعكاساً جذرياً. فقد احتوت أنسجة براعم نباتات من عينات التربة 6.6% C_{org} و 9.5% C_{org} على نسب منخفضة تصل حتى 19% و 28% من

مجموع المعادن الانتقالية التي تُمتص عادة. وآليات حصول ذلك فيزيولوجياً غير معروفة، إلا أنه افترض حصول امتصاص النبات لغرويات دُبالية ≤ 3500 دالتون، حيث جرى تبيان أن المواد الدُّبالية تُظهر مفاعيل هرمونية. (Muscolo et al., 2007; Nardi et al., 2002). ويجب أيضاً الأخذ في الحسبان انغماس الهرمونات الجرثومية التي تتكوّن أثناء التخمر الصناعي للسماذ المخمر التجاري.

ويمكن تسهيل توسيع إنتاج المحاصيل الخالية من المعادن (Baker, 1981) إلى التربة الملوّثة بالمعادن الثقيلة بنشر سماذ عضوي مخمّر ومقدار محدود من النتروجين قبل استصلاحها. حينئذٍ يتطلب تحسين نسبة المعادن الضئيلة التوافر في النبات المزروع في تربة فقيرة نشر أسمدة NH_4 محمّضة للتربة وبإدئة لتكوين بروتينات النبات (Schachtschabel et al., 1998)، إضافة إلى مصادر نتروجين عضوي معدّنة بواسطة وسيطات $\text{NH}_3/\text{NH}_4^+$ (Gramss et al., 2003; 2004). أما نشر الكربون العضوي فيجب تقييده.

وتدلّ المفاعيل العكسية لأنواع السماذ المختلفة في قابلية ذوبان المعادن الضئيلة التوافر وامتصاص النبات لها، الواردة في الدراسة المرجعية، حجم البحث الجديد الضروري لجعل مصادر الكربون والنتروجين العضوي أدوات آمنة لإنتاج محاصيل مستثملة من حيث المعادن الضئيلة الأثر في التربة السيئة. وهذا ينطوي على الأمل في تقليص الحاجة إلى أسمدة المعادن الضئيلة التوافر إضافة إلى تقليص تكاليف استصلاح التربة الملوّثة بالمعادن الثقيلة.

مراجع

Abdelouas, A., Lutze, W. & Nuttall, H. E. (1999). Uranium contamination in the subsurface: characterization and remediation. *Rev. Mineral. Geochem.*, 38, 433-473.

Adriano, D. C. (2001). Trace Elements in Terrestrial Ecosystems: *Biogeochemistry, Bioavailability and Risks of Metals*. New York: Springer.

Arrivault, S., Senger, T. & Krämer, u. (2006). The Arabidopsis metal transport protein AtMTP3 maintains metal homeostasis by mediating Zn exclusion from the shoot under Fe deficiency and Zn oversupply. *Plant J.*, 46, 861-879.

Baker, A. J. M. (1981). Accumulators and excluders-strategies

in the response of plants to heavy metals. *J. Plant Nutr.*, 3, 643-654.

Barekzai, A. & Mengel, K. (1993). Effect of microbial decomposition of mature leaves on soil pH. *J. Plant Nutr. Soil Sci.*, 156, 93-94.

Bell, P. F., Chaney, R. L. & Angle, J. S. (1991). Free metal activity and total metal concentrations as indices of micronutrient availability to barley (*Hordeum vulgare* (L.) Klages). *Plant Soil*, 130, 51-62.

Bergmann, H., Voigt, K. D., Machelett, B. & Gramss, G. (2006). Variation in heavy metal uptake by crop plants. In B. J. Merkel and A Hasche-Berger (Eds.), Uranium in the Environment (pp. 459-468). Berlin: Springer.

Bilos, C., Colombo, J. C., Skorupka, C. N. & Rodriguez Presa, M. J. (2001). Source, distribution and variability of air-borne trace metals in La Plata City area, Argentina. *Environ. Pollut.*, 111, 149-158.

Cakmak, I. (2008). Enrichment of cereal grains with zinc: agronomic or genetic biofortification? *Plant Soil*, 302, 1-17.

Carletti, P., Masi, A, Spolaore, B., Polverino de Laureto, P., de Zorzi, M., Turetta, L., Ferretti, M. & Nardi, S. (2008). Protein expression changes in maize roots in response to humic substances. *J. Chem. Ecol.*, 34, 804-818.

Chen, B., Roos, P., Borggaard, O. K., Zhu, Y. G. & Jakobsen, I. (2005). Mycorrhiza and root hairs in barley enhance acquisition of phosphorus and uranium from phosphate rock but mycorrhiza decreases root-to-shoot uranium transfer. *New Phytol.*, 165, 591-598.

Cotton, F. A., Wilkinson, G. & Gaus, P. L. (1987). Basic Inorganic Chemistry (2nd edition). New York: *J Wiley & Sons*, Inc.

Dubois, M., Gilles, K. A., Hamilton, J. K., Rebers, P. A. & Smith, F. (1956). Colorimetric method for determination of sugars and related substances. *Anal. Chem.*, 28, 350-356.

Ellen, G., Loon, J. W. & Tolsma, K (1990). Heavy metals in vegetables grown in the Netherlands and in domestic and imported

fruits. *Z. Lebensm. Unters. Forsch.*, 190, 34-39.

Gibson, R. S. (2006). Zinc: the missing link in combating micronutrient malnutrition in developing countries. *Proc. Nutr. Soc.*, 65, 51-60.

Gramss, G. & Bermann, H. (2008). Applications of NH_4Cl and citrate: Keys to acceptable phytoextraction techniques? In: B. J. Merkel and A Hasche-Berger (Eds.), *Uranium, Mining and Hydrogeology* (pp. 321-331). Berlin: Springer.

Gramss, G., Büchel, G. & Bergmann, H. (2005). Manipulation of the water-solubility of (heavy) metals in uranium mine soil with the exchangeable bases, Ca, K, Mg, and Na at a near-constant pH. In *Proceedings of the Congress, Securing the Future*, June 27-July 1, 2005 (pp. 343-352). Skellefteå, Sweden.

Gramss, G., Büchel, G. & Bergmann, H. (2006). Soil treatment with nitrogen facilitates continuous phytoextraction of heavy metals. In B. J. Merkel and A Hasche-Berger (Eds.), *Uranium in the Environment* (pp. 483-493). Berlin: Springer.

Gramss, G., Schubert, R. & Bermann, H. (2009). Control of the root-to-shoot translocation of (heavy) metals in Chinese cabbage by application of carbon and nitrogen compounds to uranium mine dump soil. In G. H. Wolfe (Ed.), *Uranium: Compounds, Isotopes and Applications* (in press). New York: Nova Publishers.

Gramss, G., Voigt, K D. & Bergmann, H. (2004). Plant availability and leaching of (heavy) metals from ammonium-, calcium-, carbohydrate-, and citric-acid-treated uranium-minedump soil. *J. Plant Nutr. Soil Sci.*, 167, 417-427.

Gramss, G., Voigt, K. D., Bublitz, F. & Bergmann, H. (2003). Increased solubility of (heavy) metals in soil during microbial transformations of sucrose and casein amendments. *J. Basic Microbiol.*, 43, 483-498.

Guo, B., Schmitt, J., Chen, Z., Liang, I. & McCarthy, J. F. (1994). Adsorption and desorption of natural organic matter on iron oxide: mechanisms and models. *Environ. Sci. Technol.*, 28,38-46.

Hashimoto, Y., Matsufuru, H. & Sato, T. (2008). Attenuation of lead leachability in shooting range soils using poultry waste amendments in combination with indigenous plant species. *Chemosphere*, 73, 643-649.

Herencia, J. F., Ruiz, J. C., Morillo, E., Melero, S., Villaverde, J. & Maqueda, C. (2008). The effect of organic and mineral fertilization on micronutrient availability in soil. *Soil Sci.*, 173, 69-80.

Hotz, C. & Brown, K. H. (2004). Assessment of the risk of zinc deficiency in populations and options for its control. *Food Nutr. Bull.*, 25, 94-204.

Islam, E. U., Yang, X. E., He, Z. L. & Mahmood, Q. (2007). Assessing potential dietary toxicity of heavy metals in selected vegetables and food crops. *J. Zhejiang Univ. Sci., B* 8,1-13.

Jordão, C. P., Nascentes, C. C., Cecon, P. R, Fontes, R. L. F. & Pereira, J. L. (2006). Heavy metal availability in soil amended with composted urban solid wastes. *Environ. Monit. Assessment*, 112, 309-326.

Kochian, L. V. (2000). Molecular physiology of mineral nutrients acquisition, transports, and utilization. In B. B. Buchanan, W. Gruissem and R. L. Jones (Eds.), *Biochemistry and Molecular Biology of Plants* (pp. 1204-1249). Rockville, MD, USA: *American Society of Plant Biologists*.

Kräner, U., Talke, I. N. & Hanikerme, M. (2007). Transition metal transport. *FEBS Lett.*, 581, 2263-2272.

Lottermoser, B. G. (2003). *Mine Wastes. Characterization, Treatment and Environmental Impacts*. Berlin: *Springer*.

Macaskie, L. E., Yong, P., Doyle, T. C., Roig, M. G., Diaz, M. & Manzano, D. (1997). Bioremediation of uranium-bearing wastewater: biochemical factors influencing bioprocess application. *Biotechnol. Bioeng.*, 53, 100-109.

Marschner, H. (1995). *Mineral Nutrition of Higher Plants* (2nd edition). London: Acad. Press.

Mengel, K. (1991). Ernährung und Stoffwechsel der Pflanze (7th edition). Jena, Germany: *Gustav Fischer*.

Muscolo, A., Sidari, M., Francioso, O., Tugnoli, V. & Nardi, S. (2007). The auxin-like activity of humic substances is related to membrane interactions in carrot cell cultures. *J. Chem. Ecol.*, 33, 115-129.

Myrold, D. D. & Posavatz, N. R. (2007). Potential importance of bacteria and fungi in nitrate assimilation in soil. *Soil Biol. Biochem.*, 39, 1737-1743.

Nardi, S., Pizzeghello, D., Muscolo, A. & Vianello, A. (2002). Physiological effects of humic substances on higher plants. *Soil Biol. Biochem.*, 34, 1527-1536.

Perez, J. & Jeffries, T. W. (1992). Roles of manganese and organic acid chelators in regulating lignin degradation and biosynthesis of peroxidases by *Phanerochaete chrysosporium*. *Appl. Environ. Microbiol.*, 58, 2402-2409.

Petrisor, I. G., Dobrota, S., Komnitsas, K., Lazar, I., Kuperberg, I. M. & Serban, M. (2004). Artificial inoculation - perspectives in tailings phytostabilization. *Int. J. Phytoremed.*, 6, 1-15.

Riccardi, G., Milano, A., Pasca, M. R. & Nies, D. H. (2008). Genomic analysis of zinc homeostasis in *Mycobacterium tuberculosis*. *FEMS Microbiol Lett.*, 287, 1-7.

Schachtschabel, P., Blume, H. P., Brümmer, G., Hartge, K. H. & Schwertmann, U. (1998). Lehrbuch der Bodenkunde (14th edition). Stuttgart, Germany: *Enke*.

Schinner, F., Öhlinger, R., Kandeler, E. & Margesin, R. (1993). Bodenbiologische

Arbeitsmethoden (2nd edition). Berlin: *Springer*.

Shuman, L. M., Dudka, S. & Das, K. (2001). Zinc forms and plant availability in a compost amended soil. *Water, Air, and Soil Pollut.*, 128, I-II.

Sikora, L. J. & Enkiri, N. K. (2001). Uptake of ¹⁵N fertilizer in

compost-amended soils. *Plant Soil*, 235, 65-73.

Tang, M., Hu, F., Wu, L., Luo, Y., Jiang, Y., Tan, C., Li, N., Li, Z. & Zhang, L. (2009). Effects of copper-enriched composts applied to copper-deficient soil on the yield and copper and zinc uptake of wheat. *Int. J. Phytoremed.*, 11, 81-93.

Tassi, E., Pouget, J., Petruzzelli, G. & Barbaferi. M. (2008). The effects of exogenous plant growth regulators in the phytoextraction of heavy metals. *Chemosphere*, 71, 66-73.

Tyler, G. & Olsson, T. (2001). Plant uptake of major and minor mineral elements as influenced by soil acidity and liming. *Plant Soil*, 230, 307-321.

Van de Mortel, J. E., Villanueva, L. A., Schat, H., Kwekkeboom, J., Coughlan, S., Moerland, P. D., Van Themaat, E. V. L., Koornneef, M. & Aarts, M. G. M. (2006). Large expression differences in genes for iron and zinc homeostasis, stress response, and lignin biosynthesis distinguish roots of *Arabidopsis thaliana* and the related metal hyperaccumulator *Thlaspi caerulescens*. *Plant Physiol.*, 142, 1127-1147.

Vangronsveld, J., Ruttens, A, Mench, M., Boisson, J., Lepp, N. W., Edwards, R., Penny, C. & Van der Lelie, D. (2000). *In situ* inactivation and phytoremediation of metal- and metalloid-contaminated soils: field experiments. In D. L. Wise, D. J. Trantolo, E. J. Cichon, H. 1. Inyang & U. Stottmeister (Eds.), *Bioremediation of Contaminated Soils* (pp. 859-884). New York: Marcel Dekker, Inc.

Varanini, Z. & Pinton, R. (2001). Direct versus indirect effects of soil humic substances on plant growth and nutrition. In R. Pinton, Z. Varanini and P. Nannipieri (Eds.), *The Rhizosphere* (pp. 141-158). Basel, Swiss: Marcel Dekker Inc.

Verret, F., Gravot, A., Auroy, P., Leonhardt, N., David, P., Nussaume, L., Vavasseur, A. & Richaud, P. (2004). Overexpression of AtHMA4 enhances root-to-shoot translocation of zinc and cadmium and plant metal tolerance. *FEBS Lett.*, 576, 306-312.

Walker, D. J. Clemente, R. & Bernal, M. P. (2004). Contrasting effects of manure and compost on soil pH, heavy metal availability and growth of *Chenopodium album* L. in a soil contaminated by pyrite mine waste. *Chemosphere*, 57, 215-224.

Wang, S. & Mulligan, C. N. (2009). Enhanced mobilization of arsenic and heavy metals from mine tailings by humic acid. *Chemosphere*, 74, 274-279.

Xing, J. P., Jiang, R. F., Ueno, D., Ma, J. F., Schat, H., McGrath, S. P. & Zhao, F. J. (2008). Variation in root-to-shoot translocation of cadmium and zinc among different accessions of the hyperaccumulators *Thlaspi caerulescens* and *Thlaspi praecox*. *New Phytol.*, 178, 315-325.

Yang, X. E., Chen, W. R. & Feng, Y. (2007). Improving human micronutrient nutrition through biofortification in the soil-plant system: China as a case study. *Environ. Geochem. Health*, 29, 413-428.

Yang, X. E., Peng, H. Y., Jiang, L. Y. & He, Z. L. (2005). Phytoextraction of copper from contaminated soil by *Elsholtzia splendens* as affected by EDTA, citric acid, and compost. *Int. J. Phytoremed.*, 7, 69-83..

Zandonadi, D., Canellas, L. & Façanha, A. (2007). Indolacetic and humic acids induce lateral root development through a concerted plasmalemma and tonoplast H⁺ pumps activation. *Planta*, 225, 1583-1595.

الفصل الثاني عشر

تضخيم رنيات متداخلة صغيرة في النباتات المعدلة جينياً

Hiroaki Kodama^(), Hazuki Iwasa, Sayaka Hirai and*

Shin-ichiro Oka

Graduate School of Horticulture, Chiba University, 648 Matsudo,
Chiba 271-8501, Japan

ملخّص

تدأخل الرنا (RNAi) (RNA Interference) هي تكنولوجيا سريعة الانتشار تُسهّم في تقدم علم النبات الأساسي وتكنولوجيا النبات الحيوية التطبيقية. إن معظم متعضيات تدأخل الرنا النباتية تنسخ سلسلة متكررة معكوسة تشتمل على سلاسل معينة. وتُعالج رنيات (RNAs) ملقط الشعر (Hairpin) RNA لتصبح رنيات صغيرة متداخلة (siRNAs) (Small interfering RNAs) طولها يساوي 21-25 نيوكليداً. وتُضمّن هذه الـ (siRNAs) في معقدات بروتينية تحتوي على الأرجوناوت1 (argonaute1)، ثم تقود القص الخاص بالسلسلة للرنيات المرسالة (mRNAs) (Messenger RNA). وتقدح (siRNAs) أولية غالباً تركيب siRNAs ثانوية. وفي عملية التضخيم هذه، يتبع تحويل الـ siRNAs الأولية إلى

(*) المؤلف المراسل: E-mail: kodama@faculty.chiba-u.jp

الـ (mRNAs) موضوع الاهتمام استعمال رنا البوليميراز 6 المعتمد على الرنا (rna- (RDR6) dependent RNA Polymerase6)، ثم تُركَّب جزئيات رنا متممة إلى جانب mRNAs معينة. وتُعالج الرنيات ذات الطاقين (Double-Stranded) (dsRNAs) المركبة أخيراً لتصبح (siRNAs) ثانوية بالأنشطة الزائدة للبروتينات DICER-LIKE2 و DICER-LIKE4. ونظراً إلى أن المنطقة موضوع الاهتمام للـ siRNAs الثانوية تتوسع إلى مناطق خارج الموقع الرئيسي موضوع الاهتمام، تسمى هذا الظاهرة بالتعددي (Transitivity). إن توسُّع هدف الـ RNAi بالتعددي يُجرب خصوصيتها. لذا كانت آليات التعددي هامة للباحثين الذين يستعملون نباتات رنيات متداخلة. ويُشاهد التعددي كثيراً في النباتات المعدلة جينياً التي تتجلى فيها سلاسل تعديل جيني معينة بوجود الـ siRNAs الرئيسية. وليس ثمة دراسة تُري التعددي في قوالب الـ mRNA الداخلية. والشيء الذي ليس واضحاً هو لماذا تبدو معظم عمليات النسخ الداخلية قالباً غير كاف للـ RDR6 في أثناء التعددي، لكن التعددي المحدود في أثناء عمليات النسخ الداخلية يُسهم على ما يبدو في الحفاظ على خصوصية الرنيات المتداخلة. في هذه المراجعة، سوف نركِّز الاهتمام في التعددي الموجود في النباتات المعدلة جينياً.

تقديم

لإيضاح وظيفة الجينات غير المحددة الهوية، غالباً ما نُدخل جينات معينة في نبات، ونتحرى مفاعيلها في تعبير جينات أخرى ذات صلة، وفي النمط الظاهري للنباتات المعدلة جينياً الناتجة أيضاً. إن طرائق استعمال جينات تعديل من هذا النوع توفر لنا ثروة من المعلومات عن وظيفة جينة معينة. ومع أن التعديل الجيني يتجلى بتأثير معزاز خاص به، فإن أنشطته النسخية غالباً ما تختلف كثيراً فيما بين أنواع النباتات المعدلة جينياً. ويُعزى هذا التعديل اللاجيني للنشاط النسخي على ما يبدو إلى اختلافات في موقع حقن جينات التعديل في جينوم النبات، وإلى التغيرات في ترتيب أنماط مواقع جينات التعديل التي مثل تكرارية نسخ جينة التعديل (Hamada and Kodama, 2006).

وفي المقابل، تحقِّق تحجيم (Down-Regulation) الجينة المستهدفة باستعمال

عدة طرائق مختلفة. وقد كان إيزانت وونتروب (Izant and Weintraub, 1984) أول من استعمل طريقة مضاد التعبير (Antisense) بغية تقليص التعبير الجيني لحقيقيات النوى (Eukaryotic). ويُتوقع أن تكون الرنيات المضادة للتعبير مضاعفات رنا مع جزيئات mRNA تعبيرية يتبعها إسكات ترجمة أو تخريب الرنا ذي الطاقين. وهنا نسمي الإسكات الجيني بواسطة تكنولوجيا مضاد التعبير الإسكات الجيني بمضاد التعبير بعد النسخ (Antisense Post-Transcriptional Gene Silencing) (AS-PTGS). وقد استُعملت تكنولوجيا الـ AS-PTGS هذه بوصفها الطريقة الرئيسية لتعطيل الجينات موضوع الاهتمام في تسعينات القرن العشرين (Dougherty and Parks, 1995). وفي عام 1990، أعلن نمط ظاهري غير متوقع لنباتات معدلة جينياً (Matzke et al., 1989; Hobbs et al., 1990; Napolì et al., 1990; van der Krol et al., 1990). على سبيل المثال، أُدخل إنزيم التشفير الجيني سنتاز كالكُن بيتونيا (Gene Encoding Petunia Chalcone Synthase) (CHS)، وهو واحد من الإنزيمات المفتاحية في تركيب الأنتوسيانين (Anthocyanin)، في أصناف مستولدة من نبات بيتونيا مُزهرة ملونة بألوان غير بيضاء. فأعطت عدة أصناف معدلة جينياً، لكنها لم تكن كلها أزهاراً بيضاء تماماً. في هذه الحالة، سببت سلاسل التعديل الجيني التشفيرية CHS إسكاتاً للنمط الظاهري لجينات الـ CHS الداخلية (Jorgensen, 1995). تسمى ظاهرة الإسكات تلك التي قدحتها جينة تعديل تعبيرية بالكبت المشترك (Cosuppression)، أو إسكات الجينة بعد النسخ (Post-Transcriptional Gene Silencing) (PTGS)، أو الإسكات بعد النسخ بالجينة التعبيرية (Sense Post-Transcriptional Gene Silencing) (S-PTGS). ويمكن مشاهدة الـ S-PTGS في النباتات المحوَّلة بجينات مُحرِّرة (Reporter Gene) منها جينة غلوكورونيداز بيتا (β -Glucuronidase) وبروتين التألُّق الأخضر حيث يمكن لإسكات جينات التعديل أن يحصل بين نسختي تعديل جيني أو أكثر (Elmayan and Vaucheret, 1996; Boutla et al., 2002). وقد شاهدنا غالباً إسكاتاً محسناً لتعبير الجينة موضوع الاهتمام في نباتات الـ S-PTGS، وليس في نباتات الـ AS-PTGS (Hamada et al., 1996; Davuluri et al., 2004; Tomita et al., 2004). واستُعملت نباتات S-PTGS مراراً بوصفها تقنية إسكات حتى نحو عام 2000 في مجال علم الأحياء النباتي. ثم حلت تكنولوجيا تداخل الرنا محل طريقتي الـ AS & S-PTGS بسبب كفاءتها العالية وتفوقها في

الإسكات (Wang and Wagner, 2003). ويُعتبر الأساس الجزيئي لـ S-PTGS الآن مشابهاً لذلك الخاص بتداخل الرنا.

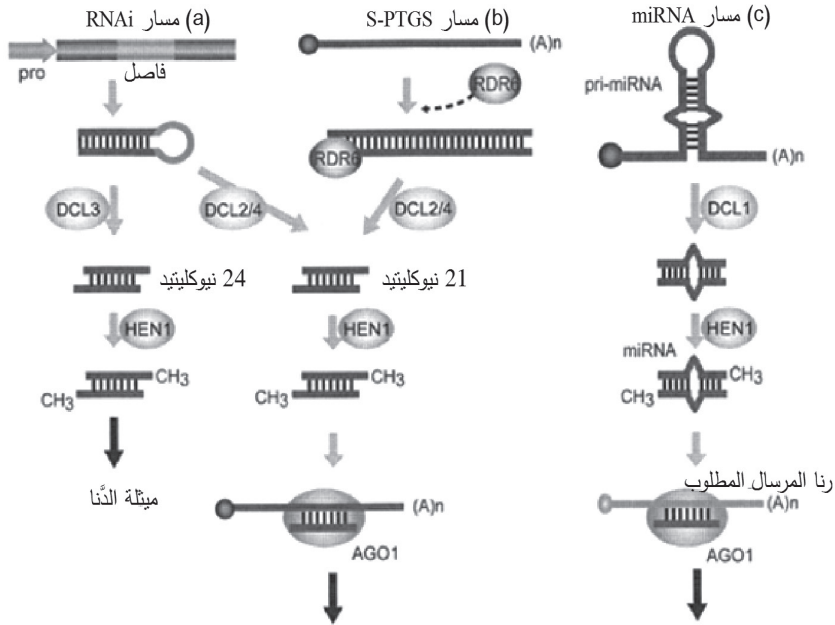
يحصل هذا الإسكات الخاص بالسلسلة لتعبير الجينة موضوع الاهتمام بواسطة فئة فريدة من الرنيات، وهي فئة الرنيات الصغيرة التي يبلغ طولها نحو 21-25 نيوكليوتيد. ويكشف تفسير آليات عمل الرنيات الصغيرة عن مسارات مختلفة، منها عملية التضخيم المتغيرٍ للرنيات الصغيرة. ويصفها لباردي وآخرون (Lipardi et al., 2001) بأنها «آلية الطبيعة لتفاعل البوليميراز المتسلسل». هنا سوف نركّز الاهتمام بالدرجة الأولى على تضخيم الرنيات الصغيرة التي يمكن أن تؤثر في النمط الظاهري للنباتات المعدلة جينياً.

1- لمحة عن تداخل الرنا ومسارات الإسكات

اكتُشف تداخل الرنا في دودة شبة العُصية الأنيقة (Caenorhabditis Elegans) من قبل فاير ومللو (Fire) و (Mello) وزملائهما. يجرّض الإدخال المتزامن لجزيئات رنا مضادة للتعبير وأخرى تعبيرية تعطيلًا جينياً متخصصاً بالسلسلة (Fire et al., 1998). وقد أصبح اليوم تداخل الرنا أداة قوية لإيضاح وظائف الجينات على نطاق الجينوم (Kamath et al., 2003; Reddien et al., 2005). وتؤدي دور الوسيط في تداخل الرنا رنيات تداخل صغيرة (siRNAs) طول الواحد منه نحو 21-25 نيوكليوتيد. ومن اللافت أن رنيات التداخل الصغيرة اكتُشفت في نباتات تنطوي على عدة أنماط ظاهرية مكبوتة، منها الـ S-PTGS (Hamilton and Baulcombe, 1999). ويقترن رنا تداخل صغير وحيد الطاق بروتين الأروغوناوت، وهو مركب من معقد إسكات محرض بالرنا (RISC; Hammond et al., 2000). وتُقصّر رنيات مرسالة عند 10 نيوكليوتيدات من الطرف 5' من رنا التداخل القصير ذي الـ 21 نيوكليوتيد بواسطة «شّراح» (Slicer) (Song et al., 2004). وفي العشب الطفيلية أرابيدوبسيس ثاليانا (Arabidopsis Thaliana)، حُدّدت عشرة أعضاء متوقعة من عائلة الأروغوناوت (AGO1-AGO10)، وAGO1 هو الشّراح الرئيسي في الـ S-PTGS (Baumberger and Baulcombe, 2005; Brodersen RNAi and Voinnet, 2006).

وفي خلايا الثدييات والديدان، يمكن قرح تداخل الرنا بالإدخال المباشر لجزيئات siRNA في الخلايا. وفي النباتات، جرى تكوين معظم رنيات التداخل بإدخال وحدة نسخية تُنتج رنيات ذات طاقين لأن خلايا النبات ليست مطواعة للنقل المباشر للحموض النووية. وتحتوي رنيات التداخل في النبات على وحدة نسخ تستضيف سلسلة معكوسة متكررة، وتُنتج رنيات ملقط الشعر (Chuang and Meyerowitz, 2000; Smith et al., 2000). وتُعتبر منطقة جذع رنا ملقط الشعر رنا ذا طاقين يُحوّل إلى رنيات تداخل قصيرة بواسطة إنزيم الباتر النيوكليتيدي (Endonucleolytic) المسمى قَرّامة (Dicer) (يسمى في مجال النباتات عادة بالبروتين المشابه للقَرّامة (DCL) (DICER-LIKE Protein (DCL) (Baulcombe, 2004). وفي العشب أرابيدوسيس، جرى تحديد أربع جينات مشابهة للقَرّامة DCL1... DCL4). وحتى الآونة الأخيرة، لم يُعزل أي عيب طافر في تداخل الرنا. ونظراً إلى أن مستوى عالٍ من الدنيات القصيرة ذات الطاقين يمكن أن تُفعل مسارات ذات صلة برنيات التداخل، يمكن تجاوز المتطلبات الجينية الفعلية لتداخل الرنا. وباستعمال معزاز سكرز معبر عنه باعتدال ومقيد باللحاء، يشير دنيرو وآخرون (Dunoyer et al., 2007) إلى أن DCL1 حرّض جزء حلقة الجذع من رنيات ملقط الشعر، وعولجت رنيات تداخل قصيرة، أطوالها تساوي 21 و 24 نيوكليتيدي من الجذع، بواسطة DCL3 و DCL4. وفي حالة غياب DCL4، حوّل جزء الجذع إلى رنيات تداخل قصيرة ذات 22 نيوكليتيدي بواسطة DCL2. وإذا نُسخت رنيات ملقط الشعر مراراً بواسطة معزاز قوي، مثل معزاز فيروس القرنييط الفسيفسائي 35S، من المرجح أن ينخرط كل من DCL2 و DCL4 في إنتاج رنا تداخل قصير ذي 12 نيوكليتيدي (Fusaro et al., 2006; Mlotshwa et al., 2008). إن أطوال معظم الرنيات الصغيرة المقترنة بقَرّامة رئيسية، AGO1، تساوي 21 نيوكليتيدي (Mi et al., 2008). وتحتوي رنيات التداخل الصغيرة التي تساوي أطوالها 24 نيوكليتيدي ضمن AGO4، وهي منغمسة في الإسكات النسخي والميثلة لجينة الدنا في مواقع جينومية معينة (Matzke et al., 2007) (الشكل 1a).

وتُعتبر رنيات التداخل الصغيرة أيضاً مادة أساسية في الـ S-PTGS، إلا أن النسخ الوليدة من جينات التعديل التعبيرية لا تستطيع أن تكون ركيزة للقَرّامات.



الشكل 1: مسارات إسكات نموذجية بواسطة رنيات التداخل الصغيرة siRNAs ورنيات التداخل المرشالة (a) miRNAs مسار RNAi. تُنتج بنية RNAi رنيات ملقط شعر. ويُحوّل DCL3 رنيات الطاقين إلى رنيات تداخل صغيرة siRNAs توجه ميثلة السيتوسين (Cytosine) على الموقع الجينومي المناظر. ويُنتج DCL4 رنيات تداخل صغيرة أطوالها تساوي 21 نوكليتيد. ويُشارك DCL2 في العملية أيضاً. ويتوسط HEN1 الميثلة عند الطرف 3' من رنا التداخل الصغير (Yu et al., 2005). ويوجه دنا التداخل الصغير المحتوي في AGO1 القص النيوكليتيدي للرنيات المتشابهة. (b) مسار الـ S-PTGS. وتُعتبر نسخ الجينات التعبيرية أنها رنيات "شاذة"، ثم يُشغّل RDR6. يُركّب RDR6 جزيئات رنا متممة crNA. ثم تُحوّل رنيات الطاقين الصغيرة تلك إلى رنيات تداخل صغيرة أطوالها تساوي 21 نوكليتيد بواسطة DCL4 و DCL2. (c) رنيات مكروية miRNAs. تُنسخ هذه الرنيات على شكل نسخ رئيسية طويلة (pri-miRNAs) وتُحوّل إلى رنيات مكروية بواسطة DCL1. وتعمل بضعة رنيات تداخل مرشالة مثبّطاً للانتقال (Chen, 2004)، إلا أن غالبية الرنيات المكروية توجه إلى قص الرنيات المرشالة.

لذا ثمة حاجة إلى خطوة تُحوّل فيها النسخ التعبيرية إلى رنيات صغيرة ذات طاقين. إن بوليميراز الرنا المعتمد على الرنا (RNA-DEPENDENT RNA POLYMERASE) (RDR) مسؤول عن إنتاج رنيات متممة. وفي العشبنة أرايدوبسيس، ثمة ست جينات RDR (RDR1-RDR6)، (Wassenegger and Krczal, 2006). وقد جرى عزل

الطافرتين *sdel/sgs2* بوصفهما عيَّين في النبات في الـ S-PTGS (Dalmay et al., 2000; Mourrain et al., 2000) ، وحُدِّدت مواضعها بوصفهما أليات RDR6 لفقدان الوظيفة (Wassenegger and Krczal, 2006). وتُعتبر RDR6 مكوِّناً مهماً في تداخل الرنا المحرَّض برنا الطاقين الصغير (الشكل 1b).

وتُسهِّم فئة رنيات صغيرة داخلية، هي الرنيات المكروية miRNA، في التنظيم التطوُّري والاستجابة للإجهاد (Stress Response)، (Jones-Rhoades et al., 2006; Mallory and Vaucheret, 2006). وتُشفَّر كلُّ من السلسلتين، التعبيرية والمضادة للتعبير، اللازمتين لتكوين دنا الطاقين الصغير في الجينوم بوصفهما موقعي تنظيم حقيقيين. وبعد النسخ، تُعالج نسخ حلقة جذع غير تامة (pri-miRNA) بواسطة DCL1 ثم تُنتج miRNAs (Kurihara and Watanabe, 2004). ويُتوى معظم الـ miRNAs أيضاً في AGO1 (Mi et al., 2008) (الشكل 1c).

2- تغيُّرات النمط الظاهري في النباتات التي تُبدى إسكات الرنا

يُستعمل التشخيص برنيات التداخل الصغيرة للـ S-PTGS/RNAi أيضاً في بعض نباتات الـ AS-PTGS، وهذا ما يوحي بأن نباتات AS-PTGS و S-PTGS و RNAi تشترك جزئياً بألية مشتركة (Di Serio et al., 2001). وتسمى ظواهر التثبيط التي تحصل بواسطة الرنيات الصغيرة بالإسكات بالرنا (Baulcombe, 2004). وعندما عَطِّلت جينة داخلية باستعمال طرائق إسكات مختلفة، شوهدت تغيُّرات في النمط الظاهري ضمن النباتات المعدلة جينياً التي تشهد إسكات بالرنا. وقد سجَّل يورغنسن وزملاؤه كثيراً من النباتات المعدلة جينياً عدَّل فيها تعبير الـ CHC بواسطة AS-PTGS و S-PTGS ومواقع جينات التعديل أيضاً ببنية تكرارية معكوسة. ونظراً إلى أن مواقع جينات معدلة ذات بنية تكرارية معكوسة من هذا النوع وُجِدَت في نبتة بيتونيا محوِّلة ببنية تعبيرية، نسمي هنا الإسكات من خلال المواقع بالـ PTGS التعبيري ذي البنية التكرارية المعكوسة (Inverted Repeat-Structured Sense-PTGS) (IR-S-PTGS)، وذلك لتمييزه عن الإسكات برنيات التداخل. وقد ولَّدت هذه المواقع المُسكَّنة عدة أنماط لونية مختلفة في الأزهار (Jorgensen et al., 1996; Que and Jorgensen, 1998)؛ وولَّدت الـ S-PTGS أنماط ألوان في الأزهار قائمة على التشابه الشكلي، وأبدت الـ AS-PTGS تلوِّناً ضعيفاً، وأنتجت

الـ IR-S-PTGS «أنهاطاً معقدة» مع أنماط غير منتظمة أحياناً. وتتضمن آلية الابتداء في حالة S-PTGS التأثير المتبادل بين نسخ من جينات التعديل الجيني والجينات الداخلية، وهذا ما يؤدي إلى تحكُّم تطوُّري خاص بالنسيج في الـ S-PTGS.

3- تحذير من الإسكات بواسطة رنيات التداخل الصغيرة

تؤدي رنيات التداخل الصغيرة دوراً محورياً في تحديد نوعية السلسلة في الإسكات بالرنا، إلا أن ثمة تقارير تقول إن رنيات التداخل الصغيرة غالباً ما حجّمت أنواعاً من الرنيات المرسالة غير الرنيات المرسالة المقصودة. وتسمّى هذه الظاهرة بـ «مفعول الابتعاد عن الهدف» (Jackson et al., 2003). وتحجّر كيو ولان (Qiu and Lane, 2007) عدد التباينات بين رنيات التداخل الصغيرة والرنيات المرسالة التي يمكن التساهل معها من أجل إسكات الجينة موضوع الاهتمام. لقد كانت التباينات التي تساوي 3-4 نيوكليوتيدات في أزواج رنيات التداخل الصغيرة والرنيات المرسالة مسموح بها عادة من أجل عملية الإسكات في خلايا ذبابة الفاكهة والثدييات (Elbashir et al., 2001; Jackson et al., 2003; Saxena et al., 2003). وعلى ما يبدو، تزيد السماحية بالتباينات الكثيرة من احتمال الإسكات غير المقصود. وتشير محاكاة خميرة الانقسام الخلوي (Fission Yeast)، (Schizosaccharomyces Pombe) إلى أن أكثر من 6 تباينات نيوكليوتيدية يمكن أن تحوّل تداخل الرنا من دفاعي إلى ذاتي الإتلاف. لذا فإن الحد الأعلى لعدد التباينات المسموح بها يجب ألا يزيد على 6 نيوكليوتيدات (Qiu and Lane, 2007). وخلافاً للذباب والديدان والثدييات، لا يمكن التحكُّم في التباينات في رنا تداخل صغير منفرد في معظم نباتات رنيات التداخل. إن تداخل الرنا في النبات محكوم بأنواع كثيرة من رنيات التداخل الصغيرة المؤكدة من منطقة جذع طويلة نسبياً في رنا ملقط الشعر (طولها يساوي 100-500 نيوكليوتيد عادة). لذا فإن الرنيات المرسالة المقصودة يمكن أن تتدهور انتقائياً أكثر من رنيات مرسالة أخرى غير مقصودة، إلا أن فرصة الإسكات غير المقصود تزداد في نفس الوقت في نباتات رنيات التداخل. ومع أنه يتوقَّع أن تكون بضعة من التباينات في أزواج رنيات التداخل الصغيرة والرنيات المرسالة مقبولة لتحقيق الإسكات بالرنا، فقد شوهد انخفاض متغيّر في مستويات تعبير أهداف محتملة غير مقصودة في النباتات. وفي الواقع، ثمة حاجة إلى هوية سلسلة ذات امتدادات مستمرة أطولها تساوي 22 نيوكليوتيد على الأقل لحدوث الإسكات غير المقصود في نباتات الأرابيدوبسيس.

وثمة تحذير آخر بشأن نوعية الإسكات بالرنا بواسطة رنيات التداخل الصغيرة، وهو يخصّ التعدي، وهو ظاهرة تقدح فيها رنيات تداخل صغيرة رئيسية تتحول الرنيات المرشحة المقصودة إلى رنيات طاقين، وتتولد رنيات تداخل صغيرة جديدة (رنيات تداخل صغيرة ثانوية). ويُجنّد RDR6 في أثناء التعدي لإنتاج رنيات ذات طاقين. ويتوافق غياب عائلة الـ RDR من جينوم ذبابة الفاكهة والإنسان مع اكتشاف أن النباتات والديدان تتصف بالتعدي غير الموجود في خلايا الإنسان وذبابة الفاكهة (Sijen et al., 2001; Vaistij et al., 2002; Zamore, 2002). ويمكن لرنيات التداخل الصغيرة الثانوية والكبيرة أن تتوسط عملية قص الرنا المرشحة (Van Houdt et al., 2003; Bleys et al., 2006a, b)، وفي بعض الحالات، يقترن توليد رنيات التداخل الصغيرة الثانوية بمزيد من تحسين الإسكات (Shimamura et al., 2007). لذا فإن تضخيم رنيات التداخل الصغيرة أثناء التعدي يؤدي إلى قص متسارع للرنيات المرشحة، ويزيد أيضاً من فرص الإسكات غير المقصود بالرنا.

4- توليد رنيات تداخل صغيرة ثانوية في النباتات المعدلة جينياً

شاهد تكوين رنيات تداخل صغيرة في الحالات التي توجد فيها مواقع منتجة لرنيات تداخل صغيرة رئيسية مع مواقع جينات تعديل تُنتج نسخاً تعبيرية تؤوي السلاسل المطلوبة من رنيات التداخل الصغيرة الرئيسية. على سبيل المثال، شوهد إنتاج رنيات تداخل صغيرة ثانوية عندما أُصيبت نباتات معدلة جينياً تتجلى فيها جينة تعديل تعبيرية بفيروسات نباتات تحمل أجزاءً من نفس جينة التعديل (Vaistij et al., 2002). إن الإصابة بفيروسات النباتات تحرض توليد رنيات تداخل صغيرة في مقابل السلاسل الفيروسية، وقد سُميت هذه الظاهرة بإسكات الجينات المحرض فيروسيّاً (Virus-Induced Gene Silencing) (VIGS) (Baulcombe, 1999; Waterhouse et al., 1999). أو تتولد رنيات تداخل صغيرة في نباتات مهجنة من نباتات تعبيرية معدلة جينياً ونباتات رنيات تحمل مناطق جزئية من نفس السلسلة الجينية على نحو تكراري معكوس (Haque et al., 2007; Shimamura et al., 2007). وتولدت أيضاً رنيات تداخل صغيرة في نباتات تعبيرية معدلة جينياً عندما أُدخلت بنى رنيات تداخل تحتوي على جزء من السلاسل التعبيرية المعدلة جينياً بواسطة الارتشاح النباتي (Agroinfiltration) (Himber et al., 2003; Oka et al., 2008)، وعندما أُدخلت رنيات ذات طاقين بطريقة حقن الجسيمات الحيوية

(Biolistic) (Klahre et al., 2002). ووفقاً لما هو متوقع من هذه المشاهدات، يحقق الـ S-PTGS الشروط اللازمة لإنتاج رنيات تداخل صغيرة ثانوية، أي الوجود المشترك لنسخ تعبيرية وما يقابلها من رنيات تداخل صغيرة. لذا يجب أن تُكَمَّل الـ S-PTGS عملية تضخيم رنيات التداخل الصغيرة (Qiu and Lane, 2007). وثمة تقارير أيضاً عن التعدي المحرض برنيات مكروية. ومن أجل التحديد الكمي للإسكات بواسطة الرنيات المكروية، حَضَّر بريزوتو وآخرون (Parizotto et al., 2004) بنية مُحجَّجة لبروتين التآلق الأخضر تحتوي على السلسلة الأصيلة المطلوبة miR171 في منطقة الطرف 3' غير المزاحة. وقُصَّت النسخ الناتجة بواسطة miR171 ثم أُنتجت رنيات تداخل صغيرة ثانوية لبروتين التآلق الأخضر (Moissiard et al., 2008).

وإضافة إلى الإنتاج الذاتي للخلايا المذكور آنفاً، تُنتج رنيات تداخلات صغيرة أيضاً بطريقة غير ذاتية. يقترن انتشار الإسكات بالرننا، من النسيج المحلي إلى كامل النبات، بحركة بعيدة المدى لإشارات الإسكات (Voinnet et al., 1998). ويتطلب هذا الإسكات الجيني الجهازية جينة تعديل نشطة نسخياً في النسيج المستقبل (Jorgensen et al., 1998). ويؤدي زرع طعم غير مُسكَّت في نبات ذي إسكات بالرننا إلى إسكات الطعم بالرننا. وحينما حَضَّر النبات الذي سوف يُطعم من نباتات رنيات تداخل تحمل الشظايا الجزئية للجينة المطلوبة، شوهد التعدي في الطعم المُسكَّت بطريقة منهجية (Brosnan et al., 2007; Haque et al., 2007; Shimamura et al., 2007).

5- إسكات متعدّد بالرننا يعتمد على RDR6

في دودة شبه العُصية الأنيقة، تقود رنيات التداخل الصغيرة قص الرنيات الرسالة، وهي تعمل في نفس الوقت بوصفها محرّضاً للـ RDR، جاعلة تداخل الرنا ينتشر من المنطقة الرئيسية موضوع الاهتمام إلى مناطق مجاورة في مقدمة الجينة المطلوب (Sijen et al., 2001). أما توليد رنيات التداخل الصغيرة في النباتات فهو عملية أكثر تعقيداً منها في الديدان. تُركَّب رنيات التداخل الصغيرة الثانوية من المنطقة التي باتجاه الطرف 5' والمنطقة التي باتجاه الطرف 3' من المؤخرة المجاورة لسلاسل التحريض. لكن انتشار رنيات التداخل الصغيرة باتجاه النهايتين 5' و3' ليس كلياً غالباً أيضاً على شكل تعدّد وحيد الاتجاه. وفي نباتات الأرابيدوبسيس والتبغ، يكون

الـ RDR6 مسؤولاً عن إنتاج رنا الطاقين أثناء التعدي (Vaistij et al., 2002; Himber et al., 2003; Schwach et al., 2005; Oka et al., 2008). وتُعالج رنيات الطاقين المركبة حديثاً بعدئذ بالوظائف الفائضة لـ DCL2 و DCL4، وتكون رنيات التداخل الصغيرة بمعظمها ذات أطول تساوي 21 نيوكليوتيد (Mlotshwa et al., 2008; Moissiard et al., 2008).

وقد اقترحت آليتان ممكنتان لإنتاج رنيات التداخل الصغيرة الثانوية عند الطرف '5. بعد قص الرنيات المرسالة موضوع الاهتمام، برنيات التداخل الصغيرة الرئيسية، تُعتبر الرنيات الناتجة المبتورة الطرف '3، والمنقوصة ذبول الأدينينات المتعددة (poly(A)، ركيزة للـ RDR6. أو تعمل رنيات التداخل الصغيرة الرئيسية بوصفها محرّضات لها. وقد درس مواسيار وآخرون (Moissiard et al., 2008) إنتاج رنيات التداخل الصغيرة الثانوية عند الطرف '5 على طول بنية بروتين التآلق الأخضر. وعندما أُدخلت ثلاثة اختلافات تخص نهاية الطرف '3 من miR171 في بنية بروتين التآلق الأخضر، قاد الـ miR171 قص نسخ بروتين التآلق الأخضر المعدل. إلا أن رنيات التداخل الصغيرة الثانوية في الطرف '5 من بروتين التآلق الأخضر كانت تحت مستوى الكشف. وتوحي هذه النتيجة بقوة بأن رنيات التداخل الصغيرة الرئيسية تعمل محرّضات للـ RDR6 أثناء التعدي في منطقة الطرف '5.

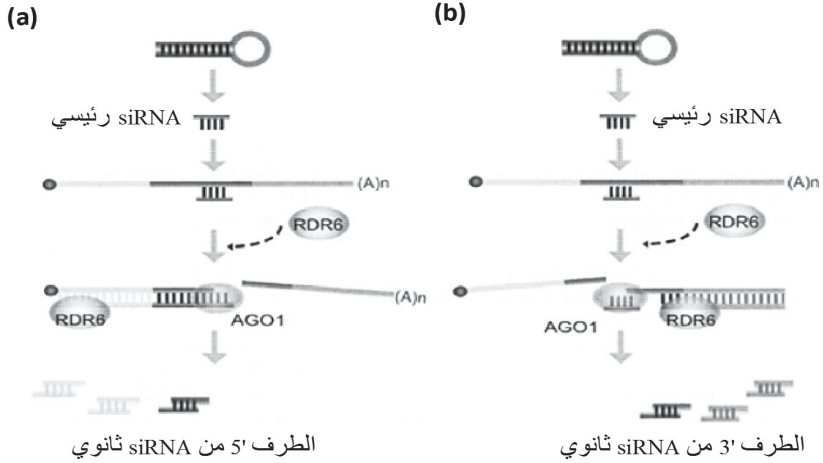
ومن أجل الإنتاج التفضيلي لرنيات تداخل صغيرة ثانوية للطرف '3 (Petersen et al., 2007; and Albrechtsen, 2005; Haque et al., 2007; Shimamura et al., 2007) اقترح مساران تركيبان ممكنان. إن شظايا الرنا المرسال، المنزوعة الغطاء المبتورة الطرف '5 والمُنتجة بالقص بواسطة رنيات تداخل صغيرة رئيسية، تُرى من قبل الـ RDR6، ويُهمَل تلك ذات الأطراف '3 المبتورة. أو تكون قابلة للـ RDR6 للمعالجة محدودة، ويكون من الصعب تركيب جزيئات رنا متممة crRNA توافق المنطقة التي باتجاه الطرف '5 على القالب ذي الفجوة الواسعة بين الأطراف الرابطة لرنيات التداخل الصغيرة والطرف '3 من القوالب. وبهذا الخصوص، استقصى أوكا وآخرون (Oka et al., 2008) تكوين أطراف '3 وحيدة الاتجاه لرنيات تداخل صغيرة باستعمال عدة بنى رنيات تداخل آوت المناطق موضوع الاهتمام التي تشمل على كامل النسخة التعبيرية. وقد حُققت بنى رنيات التداخل تلك بالارتشاح في أوراق نبات معدل جينياً تتجلى فيها الجينة موضوع الاهتمام. وبيّنت النتائج أن رنيات التداخل الصغيرة الثانوية ذات الأطراف '5 صعبة التكوين، بغض النظر عن

موقع سلاسل التحريض على النسخة التعبيرية، وهذا يوحي بأن الفرضية السابقة عن الـ RDR6 تُستعمل بأفضلية في شظايا رنا منزوعة الغطاء مبتورة الطرف 5'. ويبن غزاني وآخرون (Gazzani et al., 2004) أن الرنيات المنزوعة الغطاء تمثل قالباً مفضلاً للـ RDR6. وتتفكك تلك الرنيات المنزوعة الغطاء بسرعة بالإنزيم XRN4 الباتر للطرفين 5' و3' في الظروف العادية. وعندما يكون هذا الإنزيم شحيحاً، تنجو النسخ المنزوعة الغطاء، والناجمة بلا انتظام من مواقع تعديل جيني نشطة جداً، من التفكك. وتُعتبر هذه النسخ قوالب RDR6، وتتكوّن رنيات تداخل صغيرة. لذا حوّل موقع التعديل الجيني إلى موقع S-PTGS في الخلايا الفقيرة بالإنزيم XRN4.

بالمحصلة، يبدو أن التعدي يحصل على النحو الآتي: تُقص الرنيات المرسالة موضوع الاهتمام بقيادة من رنيات تداخل صغيرة رئيسية، وبلي ذلك تركيب رنيات متممة، قائم على محرضات، على شظايا رنا مبتورة الأطراف 3' (الشكل 2a)، وتركيب رنيات متممة، غير قائم على محرضات، على شظايا رنا منزوعة الغطاء مبتورة الأطراف 5' (الشكل 2b). إن الـ RDR6 مسؤول عن تركيب الرنيات المتممة الموافقة للمنطقة التي باتجاه الطرف 5' والمنطقة التي باتجاه الطرف 3'. وقد شوهدت أنشطة الـ RDR القائمة وغير القائمة على التحريض في مستخلصات جراثيم القمح (Tang et al., 2003).

إن الطريقة التي يختار بها الـ RDR6 قوالبه ليست واضحة في حالة الإسكات المتعدي الوحيد الاتجاه بالرنا. وقد وُجد أخيراً استعمال الـ RDR6 المنظم بدقة في أثناء التركيب بالمتعضيات الحية (Biogenesis) لرنيات تداخل صغيرة متبادلة الفعل (Trans-Acting) (taeiRNA). إذ يمكن لعدة نسخ داخلية غير تشفيرية (pri-tasiRNAs) أن تعمل قالباً للـ RDR6 (Peragine et al., 2004). وتؤوي الرنيات pri-tasiRNAs السلاسل المستهدفة من رنيات مكروية معينة. وبعد القص بوساطة الرنيات المكروية، تُحوّل الـ pri-tasiRNAs إلى رنيات طاقين بالـ RDR6، ثم تُنتج pri-tasiRNAs بواسطة DCL4 (Allen et al., 2004; Vazquez et al., 2005; Yoshikawa et al., 2005). ويوجد في TAS3، وهو واحد من الـ pri-tasiRNAs، موقع استهداف لـ miR390، واقترح أكستل وآخرون (Axtell et al., 2006) نموذج قدح من تطابقين أصبح فيه النسخ التي يوجد فيها موقع رنا صغير أو أكثر قوالب للـ RDR6. وتعمل هذه المواقع خصوصاً مع AGO7 من

أجل استعمال الـ RDR (Montgomery et al., 2008). ويعمل AGO7 على قص الـ miR390 خصيصاً (Montgomery et al., 2008). أما إنتاج الـ tasiRNAs الأخرى من TAS1 و TAS2 و TAS4 فهو مستقل عن AGO7. وأما كيفية عمل RDR6 على TAS1 و TAS2 و TAS4 فما زالت غير واضحة.



الشكل 2: نمطان من التعدي. (a) تعدي طرف 5' وحيد الاتجاه. تعمل رنيات تداخل صغيرة مشتقة من رنيات ملقط شعر محرضات للـ RDR6. ويركّب RDR6 رنيات متممة باستعمال نسخة منزوعة ذبول الأدينينات مبتورة الطرف 3' بوصفها قالباً. (b) تعدي طرف 3' وحيد الاتجاه. بعد قص الرنيات المرشحة موضوع الاهتمام، يرى الـ RDR6 النسخ المنزوعة الغطاء المبتورة الطرف 5'. لاحظ أن هذين المسارين ليسا منفصلين دائماً.

6- النسخ المعدلة جينياً: قوالب مفضلة للـ RDR6

يبتدئ إنتاج الـ tasiRNAs، الذي يحصل بقص pri-tasiRNAs، بالتحكم في miR173 (TAS1 & TAS2)، miR390 (TAS3)، و miR828 (TAS4)، أما معظم الأهداف الأخرى لرنيات النبات المكروية فلا تصبح قوالب للـ RDR6. وفي الواقع، يمكن للـ miR171 أن يحرض تعدياً على طول نسخة بروتين التآلق الأخضر (Moissiard et al., 2008)، إلا أنه لم تُكتشف رنيات تداخل صغيرة بعيدة عن أهداف miR171 الداخلية في التحليل الجينومي الشامل لرنيات التداخل الصغيرة المنتجة بواسطة مسار RDR6/DCL4 (Howell et al., 2007). وعلى

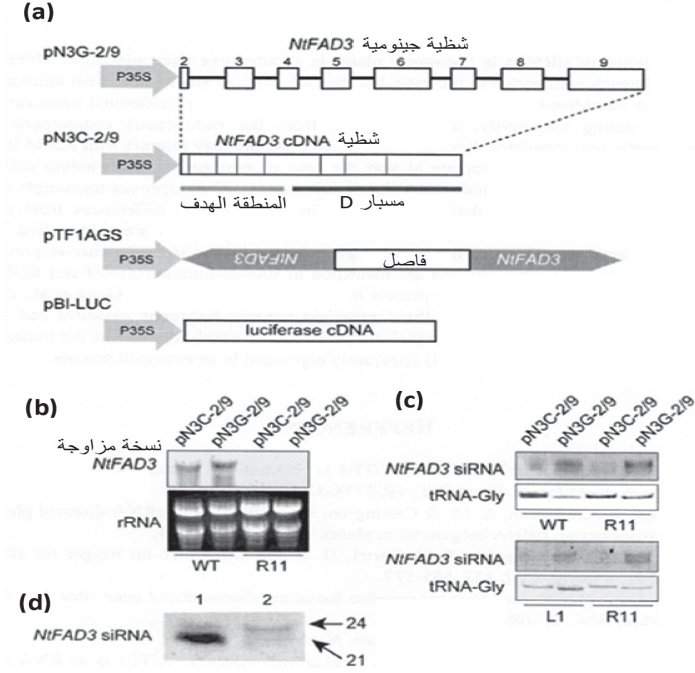
نحو مشابه، نادراً ما تعمل النسخ الداخلية قوالب RDR6 أثناء التعدي في نباتات رنيات التداخل المعدلة جينياً والنباتات المحرّضة بإسكات الجينات المحرض فيروسياً. وقد ذُكرت حالة استثنائية واحدة في الـ S-PTGS مع جينة الغلوكاناز (Glucanase) (Sanders et al., 2002). فقد سببت جينة تعديل الغلوكاناز إسكاتاً مشتركاً لجينات الغلوكاناز الداخلية التي أبدت درجات مختلفة من التماثل مع جينة التعديل، واكتُشفت رنيات تداخل صغيرة توافق هذه الجينات الداخلية المُسكّنة. إلا أن معظم الدراسات الأخرى بيّنت أن إنتاج رنيات تداخل صغيرة يحصل تفضيلاً على قالب التعديل الجيني، لا على القوالب الداخلية (Vaistij et al., 2002; Kościńska et al., 2005; Miki et al., 2005; Petersen and Albrechtsen, 2005; Bleys et al., 2006b; Shimamura et al., 2007). لذا تُحمى النسخ الداخلية من التعديّ بسماوات أصيلة غير معروفة. وحالياً، فإن سبب كون النسخ المعدلة جينياً قالباً مفضلاً لـ DRD6 ليس واضحاً. وعلى ما يبدو، فإن انعدام تضخيم رنيات التداخل الصغيرة، مع الرنيات المرسالة الداخلية، مستقل عن مقدار الرنيات المرسالة موضوع الاهتمام، لأن الرنيات المرسالة الوفيرة المنسوخة من الجينة الداخلية، ومن أمثلتها جينة ديزاتوراز الفيتوئين (Phytoene Desaturase)، وجينة *rbcS*، وجينة الوحدة الجزئية 1 من شيلاتاز المغنيزيوم، لم تعمل قوالب لـ RDR6 (Vaistij et al., 2002; Petersen and Albrechtsen, 2005). ويقترح واسنجرو وكرزال (Wassenegger and Krczal, 2006) آليتين محتملتين تُحمى بهما النسخ الداخلية من رؤية RDR6 لها. وإحدهما هي آلية رقابة الرنا المقترنة بمعالجة الرنا. إن جميع الجينات الداخلية تحتوي على إنترونات، وتُعالج نسخها بالسبلايسوزوم (Spliceosome). ويمكن أن تُزال النسخ التالفة من الجينات الداخلية قبل التحويل. وفي المقابل، لا يحتوي معظم جينات التعديل على إنترونات، ومن المحتمل إرسال النسخ التالفة الناتجة أثناء النسخ العالي الفعالية إلى السيتوبلازما من دون رقابة الرنا المقترنة بالسبلايسوزوم. وثمة آلية ممكنة أخرى هي مشاركة سلاسل تنظيمية ذات صلة بالفيروسات والجراثيم النباتية، من مثل المعزازات الفيروسية ومعزاز سينتاز النوبالين وسلاسل النهايات. ويمكن لهذه العناصر أن تكون سبب التجميع غير الكامل للمعقدات النسخية أو تغيرات بنى الكروماتين.

7- المشاركة المحتملة لمسار الإسكات النووي بالرنا أثناء التعدي

صحيح أن إنتاج رنيات التداخل الصغيرة يعتمد على الـ RDR6/ DCL4 (وعلى DLC2)، إلا أن التحليلات في الآونة الأخيرة توحى بمشاركة من مسار الإسكات بالكروماتين. ويبدو أن هذا الإسكات بالكروماتين يحصل بوساطة رنيات تداخل صغيرة ذات 24 نيوكليوتيد ربما نتجت من تشكيلات من وحدات جزئية كبيرة من بوليماز الرنا IV (NRPD1a)، وDRD2 وDLC3 وAGO4 (Matzke et al., 2007). ويُفترض أن رنيات التداخل الصغيرة ذات الـ 24 نيوكليوتيد توجه ميثلة الدنا التي تتبعها تعديل هيستوني (Histone) ويؤدي في النهاية إلى تكوّن الكروماتين المغاير (Xie et al., 2004). يُضاف إلى ذلك، أن وجود رنيات التداخل ذات الـ 24 نيوكليوتيد يترابط مع إسكات جهاز الرنا (Hamilton et al., 2002). لذا يُعتبر أن رنيات التداخل الصغيرة تشارك في كل من مساري الإسكات النووي والجهاز. لقد زرع بروسنان وآخرون (Brosnan et al., 2007) طعوماً محضرة من طافرات *NRPD1a* و *RDR2* و *DCL3* و *AGO4* في نبات مُسكّت، لكن جميع الطفرات ماتت حين استقبالها إشارات الإسكات من النبات الذي حصل تطعيمه. لذا ثمة حاجة إلى الـ RDR6 لتوليد رنيات التداخل الصغيرة ذات الـ 21 و 24 نيوكليوتيد. ونظراً إلى أن تحقيق الإسكات الجيني الجهازية يقترن بتوليد رنيات تداخل صغيرة ثانوية عند الطرف '3' (Shimamura, 2007; Haque et al., 2007; Brosnan et al., 2007) ، فإن من المرجح أن يتدخل مسار الإسكات بالكروماتين في توليد رنيات تداخل صغيرة خلوية لاذاتية (Non Cell-Autonomous). ومن اللافت أن طفرات *NPRD1a* وجينة ميثلاز سيتوسين الدنا (*MET1*) سببت تأثيرات ضعيفة في S-PTGS (Morel et al., 2000; Herr et al., 2005) ، وهذا يعني أن إنتاج رنيات تداخل صغيرة ثانوية خلوية ذاتية أثناء الـ S-PTGS يتضمن مسار الإسكات النووي بالكروماتين.

8- دراسة حالة: رنيات تداخل صغيرة ذات 42 نيوكليوتيد منتجة من جينة تعديل تحتوي على إنترونات

وفقاً لما ذكر آنفاً، لم تحرّض رنيات التداخل الصغيرة الرئيسية المنتجة من رنيات ملقط الشعر تعدياً في النسخ الداخلية. وأحد تفسيرات ذلك الممكنة هو أن النسخ الداخلية الجديدة تتميز بالارتباط بالسبلاسيوزوم. ولاختبار ما إذا كانت المعالجة



الشكل 3: تركيب مفضل لرنيات تداخل صغيرة ذات 24 نوكليتيد بواسطة جينة تعديل تحتوي على إنترون. **(a)** البنى المستعملة. يؤوي pN3G-2/9 الشظية الجينومية *NtFAD3* (المواقع النيوكليتيدي 924-2435، GenBank acc. no. AB049576). وتبين الخطوط السميكة الإنترونات، وتُري الأطر البيضاء الإكزونات *NtFAD3*. ويؤوي pN3C-2/9 شظية جينومية *NtFAD3* من دنا متمم (المواقع النيوكليتيدي 339-1269، GenBank acc. no. D26509) توافق المنطقة الجينومية المستعملة في بناء pN3G-2/9. وقد أُشير إلى المنطقة المستهدفة من بنية رنا تداخل. والمنطقة المغطاة بمسبار ربيبي (المسبار D) مبيّنة أيضاً. وتُستعمل pTF1AGS لإنتاج نباتات رنيات تداخل (خط R11) مقابل الجينة *NtFAD3*. وأدخلت pBI-LUC في نبات التبغ لإنتاج نبات معدل جينياً للمقارنة (خط L1) **(b)** تعبير pN3G-2/9 و pN3C-2/9 في الأوراق المحقون بالارتشاح. وحُدّدت أوراق النسخ المشتقة من هذه البنى بواسطة تحليل لطاخة نورثرن (Northern Blot Analysis). وقد استعرض تكافؤ تحميل الرنا بين الممرات بتلوين نطاقات الرنا الربيبي rRNA بروميد الإيثيديوم. **(c)** كشف الـ *NtFAD3* siRNAs في الأوراق المحقونة المحضرة من نباتات WT و R11 و L1. وكُشفت الـ *NtFAD3* siRNAs بتهجين لطاخة نورثرن بواسطة مسبار D ترميزي. وجرت إعادة سبر اللطاخة بواسطة جينة لـ tRNA Gly (GCC) من أجل التحقق من أن نفس المقدار من الرنا الصغير تقريباً قد حُمّل للمم (Oka et al., 2008). **(d)** *NtFAD3* siRNAs المتراكمة في نباتات (Tomita S-PTGS et al., 2004; lane 1) وفي الأوراق المحقونة برشاحة pN3G-2/9 (المسلك 2).

لقد تحرّينا إسكات جينة ديساتوراز الحمض الدهني ω -3 لشبكة أغشية السائل الخلوي Endoplasmic Reticulum ω -3 Fatty Acid Desaturase Gene (*NtFAD3*) للتغ بالربنا (Hamada and Kodama, 2006). وكانت نباتات *NtFAD3* ذات تداخل الرنا (الخط R11) قد أُنتجت بإدخال متعضي الرنا المتداخل pTFIAGS فيها (الشكل 3a). وقد احتوى هذا البلازميد على سلسلة تكرارية معكوسة تخص النيوكليوتيدات 181-678 من الدنا المتمم في *NtFAD3* (GenBank acc. no. D26509; Tomita et al., 2004). ويمكن رصد إنتاج رنيات التداخل الصغيرة الثانوية عند الطرف 3' في النباتات المهجّنة من نبات R11 والنبات المعدّل جينياً ذي الـ *NtFAD3* التعبيري (Shimamura et al., 2007). ثم استقصينا إن كانت تلك الرنيات تُنتج بالتعبير الشاذ مكانياً للشظايا الجينومية لجينة *NtFAD3* في أوراق R11. وحُققت شظايا جينومية لـ *NtFAD3*، طولها يساوي 1512 زوج قاعدي وتخص دنا متمم في *NtFAD3* من المواقع النيوكليوتيدية 339-1269، وراء معزاز فيروس القرنبيط الفسيفسائي 35S من أجل توليد المتعضي الشائبي pN3G-2/9. ويُعبّر هذا البلازميد عن منطقة جينومية من الإكسون 2 حتى الإكسون 9 من جينة *NtFAD3*. يُضاف إلى ذلك أن شظية دنا متمم موافقة (الموقع النيوكليتيدي 339-1269) استُسخنت أيضاً في متعّص ثنائي بغية إنتاج بلازميد pN3C-2/9 (الشكل 3a).

وأُدخل pN3G-2/9 و pN3C-2/9 في أوراق نباتات R11 ونباتات مقارنة معدلة جينياً (L1) بالحقن الارتشاحي. وكانت نباتات المقارنة هذه قد أُنتجت بإدخال بنية تعبيرية (pBI-LUC) تؤوي جينة لوسيفيراز حشرة اليراعة. واستُعمل الخط L1 بوصفه نموذجاً للتعبير المفرط لجينة لوسيفيراز. وأمكن كشف نسخ من pN3G-2/9 و pN3C-2/9 في نباتات WT، لكنها تفكّكت بواسطة رنيات تداخل صغيرة رئيسية تولّدت من مواقع R11 (الشكل 3b). وكانت السلاسل الإنترونية غير موجودة في هذه النسخ حينها كُشفت بتحليل نورثرن وتحليل RT-PCR أيضاً (البيانات غير مدرجة). وكُشفت رنيات تداخل صغيرة بتهجين مسبار ريببي تعبري موسوم بـ DIG يغطي منطقة *NtFAD3* عند الطرف 3' بالنسبة إلى السلسلة موضوع الاهتمام (المسبار D، الشكل 3a). وكُشف تهجين رنيات التداخل الصغيرة مع مسبارات D بسهولة بواسطة pN3C-2/9 (الشكل 3c). ونظراً إلى أن النسخ الناضجة المتوقّعة من هذين المتعصّين الشائبيين تحتوي على نفس السلسلة، فإن رنيات التداخل الصغيرة

المكتشفة بالمسبار D أتت من النسخ المعدلة جينياً نفسها، ولم تنتج بالتعددي. وكان معظم رنيات التداخل الصغيرة المتراكمة في نباتات S-PTGS مقابل جينة *NtFAD3* بطول 21 نيوكليوتيد (Tomita et al., 2004)، لكن تلك المنتجة بالتعبير المؤقت لسلاسل *NtFAD3* الجينومية كانت غالباً بطول يساوي 24 نيوكليوتيد (الشكل 3d). ولم يُعطِ تطبيق المسبار الريبي على السلسلة الإلكترونية أي إشارات تهجين (البيانات غير مدرجة)، وهذا يشير إلى أن معظم رنيات التداخل الصغيرة في *NtFAD3* ذات الطول 24 نيوكليوتيد أوت سلاسل إكسونية. ووفقاً لما نوقش في المقطع السابق، فإن أطوال رنيات التداخل الصغيرة المشاركة في مسار الإسكات النووي بالرنا تساوي 24 نيوكليوتيد غالباً (Xie et al., 2004). بذلك فإن التعبير الشاذ مكانياً لسلسلة *NtFAD3* الجينومية الجزئية يمكن أن يفعل مسار الإسكات النووي الذي تبدو فيه قوالب الـ RDR على أنها نسخ أُزيلت منها الإنترونات. لذا فإن من المرجح ألا يستطيع المسح المقترن بمزاوجة الرنا إلغاء أجناس الرنا الشاذة كلياً (قوالب مفضلة مفترضة للـ RDR6) في أثناء نسخ جينات التعديل.

خلاصة

يُمثل تضخيم رنيات التداخل الصغيرة في النباتات المعدلة جينياً ظاهرة جذابة يُتوقع فيها ازدياد كفاءة الإسكات، إلا أنه وُجد أن تكرار إسكات الأهداف غير المقصودة يزداد أيضاً. ويرى الـ RDR6 النسخ المشتقة من جينات التعديل قابلاً له أثناء التعددي، وعلى ما يبدو فإن النسخ من النظائر الداخلية هي قوالب غير كافية. ويمكن لعدة عوامل ذات صلة برنيات التداخل أن تؤثر في RDR6 وتتأثر به في عملية إدراك قالبه، على غرار حالة تركيب رنيات التداخل الصغيرة بفعل الغير (Montgomery et al., 2008). يُضاف إلى ذلك أن التمييز الصارم للنسخ الداخلية من تلك الخاصة بجينة التعديل يوحي بأن جينة التعديل تحتلف بفوارق جوهرية عن السلاسل الجينومية الأخرى. على سبيل المثال، جرى تحديد عدة طافرات ذات صلة بالإسكات في حُجب لتغيير تعبير جينة مُحيرة مشتقة من المعزازات المسؤولة عن الضغط والدفاع. وقد عُرِّفَت مواقع هذه الطافرات بأنها *AGO4* و *ROSI* فاقدة للوظيفة (جينة ترمز لإصلاح افتراضي للدنا متضمن في نزع الميثلة) (Gong et al., 2007; Agorio and Vera, 2007). لذا جرى وسم معلبات جينات التعديل المعززة المخبرة تلك بألية الإسكات النووي بالرنا. لذا علينا تقييم النمط الظاهري المعدل جينياً بعناية برغم أن جينة التعديل تتجلى ظاهرياً بالطريقة المتوقعة.

مراجع

Agorio, A. & Vera, P. (2007). ARGONAUTE4 is required for resistance to *Pseudomonas syringae* in *Arabidopsis*. *Plant Cell.*, *19*, 3778-3790.

Allen, E., Xie, Z., Gustafson, A. M. & Carrington, J. C. (2005). microRNA-directed phasing during *trans*-acting siRNA biogenesis in plants. *Cell*, *121*, 207-221.

Axtell, M., Jan, C., Rajagopalan, R. & Bartel, D. P. (2006). A two-hit trigger for siRNA biogenesis in plants. *Cell*, *127*, 565-577.

Baulcombe, D. C. (1999). Fast forward genetics based on virus-induced gene silencing. *Curro Opin. Plant Bioi.*, *2*, 109-113.

Baulcombe, D. (2004). RNA silencing in plants. *Nature*, *431*, 356-363.

Baumberger, N. & Baulcombe, D.C. (2005). *Arabidopsis* ARGONAUTE1 is an RNA slicer that selectively recruits microRNAs and short interfering RNAs. *Proc. Natl. Acad. Sci., USA*, *102*, 11928-11933.

Bleys, A., Van Houdt, H. & Depicker, A. (2006a). Down-regulation of endogenes mediated by a transitive silencing signal. *RNA*, *12*, 1633-1639.

Bleys, A., Vermeersch, L., Van Houdt, H. & Depicker, A., (2006b). The frequency and efficiency of endogene suppression by transitive silencing signals is influenced by the length of sequence homology. *Plant Physiol.*, *142*, 788-796.

Boutla, A., Kalantidis, K., Tavemarakis, N., Tsagris, M. & Tabler, M. (2002). Induction of RNA interference in *Caenorhabditis elegans* by RNAs derived from plants exhibiting post-transcriptional gene silencing. *Nucleic Acid Res.*, *30*, 1688-1694.

Brodersen, P. & Voinnet, O. (2006). The diversity of RNA silencing pathways in plants. *Trends Genet.*, *22*, 268-280.

Brosnan, C. A., Mitter, N., Christie, M., Smith, N. A., Waterhouse, P. M. & Carroll, B. J. (2007). Nuclear gene silencing directs reception of long-distance mRNA silencing in *Arabidopsis*. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA*, *104*, 14741-14746.

Chen, X. (2004). A microRNA as a translational repressor of *APETALA2* in *Arabidopsis* flower development. *Science*, *303*, 2022-2025.

Chuang, C. F. & Meyerowitz, E. M. (2000). Specific and heritable genetic interference by double-stranded RNA in *Arabidopsis thaliana*. *Proc. Natl. Acad. Sci., USA*, *97*, 4985-4990.

Dalmay, T., Hamilton, A., Rudd, S., Angell, S. & Baulcombe, D. C. (2000). An RNA dependent RNA polymerase gene in *Arabidopsis* is required for posttranscriptional gene silencing mediated by a transgene but not by a virus. *Cell*, *101*, 543-553.

Davuluri, G. R., Van Tuinen, A., Mustilli, A. C., Manfredonia, A., Newman, R., Burgess, D., Brummell, D. A., King, S. R., Palys, J., Uhlig, J., Pennings, H. M. J. & Bowler, C. (2004). Manipulation of DET1 expression in tomato results in photomorphogenic phenotypes caused by post-transcriptional gene silencing. *Plant J.*, *40*, 344-354.

Di Serio, F., Scböb, H., Iglesias, A., Tarina, C., Bouldoires, E. & Meins, F., Jr. (2001). Sense and antisense-mediated gene silencing in tobacco is inhibited by the same viral suppressors and is associated with accumulation of small RNAs. *Proc. Natl. Acad. Sci., USA*, *98*, 6506-6510.

Dougherty, W. G. & Parks, T. D. (1995). Transgenes and gene suppression: telling us something new? *Curro Opin. Cell Biol.*, *7*, 399-405.

Dunoyer, P., Himber, C., Ruiz-Ferrer, V., Alioua, A., & Voinnet, Q. (2007) Intra- and intercellular RNA interference in *Arabidopsis thaliana* requires components of the microRNA and heterochromatic silencing pathways. *Nat. Genet.*, *39*, 848-856.

Elbashir, S. M., Martinez, J., Patkaniowska, A., Lendeckel, W. &

Tuschl, T. (2001). Functional anatomy of siRNA for mediating efficient RNAi in *Drosophila melanogaster* embryo lysate. *EMBO J.*, 20, 6877-6888.

Elmayan, T. & Vaucheret, H. (1996). Expression of single copies of a strongly expressed 35S transgene can be silenced post-transcriptionally. *Plant J.*, 9, 787-797.

Fire, A., Xu, S., Montgomery, M. K., Kostas, S. A., Driver, S. E. & Mello, C. C. (1998). Potent and specific genetic interference by double-stranded RNA in *Caenorhabditis elegans*. *Nature*, 391, 806-811.

Fusaro, A. F., Matthew, L., Smith, N. A., Curtin, S. J., Dedic-Hagan, J., Ellacott, G. A., Watson, J. M., Wang, M., Brosnan, C., Carroll, B. J. & Waterhouse, P. M. (2006). RNA interference-inducing hairpin RNAs in plants act through the viral defense pathway. *EMBO Rep.*, 7, 1168-1175.

Gazzani, S., Lawrenson, T., Woodward, C., Headon, D. & Sablowski, R. (2004). A link between mRNA turnover and RNA interference in *Arabidopsis*. *Science*, 306, 1046-1048.

Gong, Z., Morales-ruiz, T., Ariza, R. R., Roldan-Arjona, T., David, L. & Zhu, J. (2002). ROS1, a repressor of transcriptional gene silencing in *Arabidopsis*, encodes a DNA glycosylase/lyase. *Cell*, 111, 803-814.

Hamada, T. & Kodama, H. (2006). Phenotype of the transgene in plants: expression and silencing. In J. A. Teixeira da Silva (Eds.), *Floriculture, Ornamental and Plant Biotechnology: Advances and Topical Issues* (1st edition, vol II, pp. 98-107). London, UK: Global Science Books.

Hamada, T., Kodama, H., Nishimura, M. & Iba, K. (1996). Modification of fatty acid composition by over- and antisense-expression of a microsomal Δ -3 fatty acid desaturase gene in transgenic tobacco. *Transgenic Res.*, 5, 115-121.

Hamilton, A. J. & Baulcombe, D. C. (1999). A species of small antisense RNA in posttranscriptional gene silencing in plants. *Science*, 286, 950-953.

Hamilton, A., Voinnet, O., Chappell, L. & Baulcombe, D. (2002).

Two classes of short interfering RNA in RNA silencing. *EMBO J.*, 21, 4671-4679.

Hammond, S. M., Bernstein, E., Beach, D. & Hannon, G. J. (2000). An RNA-directed nuclease mediates post-transcriptional gene silencing in *Drosophila cells*. *Nature*, 404, 293-296.

Haque, A. K. M. N., Tanaka, Y., Sonoda, S. & Nishiguchi, M. (2007). Analysis of transitive RNA silencing after grafting in transgenic plants with the coat protein gene of *Sweet potato feathery mottle virus*. *Plant Mol. Biol.*, 63, 35-47.

Herr, A. J., Jensem, M. B., Dalmay, T. & Baulcombe, D. C. (2005). RNA polymerase IV directs silencing of endogenous DNA. *Science*, 308, 118-120.

Himber, C., Dunoyer, P., Moissiard, G., Ritzenthaler, C. & Voinnet, O. (2003). Transitivity-dependent and independent cell-to-cell movement of RNA silencing. *EMBO J.*, 22, 4523-4533.

Hobbs, S. L. A., Kpodar, P. & DeLong, C. M. O. (1990). The effect of the T-DNA copy number, position and methylation on reporter gene expression in tobacco transformants. *Plant Mol. Biol.*, 15, 851-864.

Howell, M. D., Fahlgren, N., Chapman, E. J., Cumbie, J. S., Sullivan, C. M., Givan, S. A., Kasschau, K. D. & Carrington, J.C. (2007). Genome-wide analysis of the RNADEPENDENT RNA POLYMERASE6/DICER-LIKE4 pathway in Arabidopsis reveals dependency on miRNA- and tasiRNA-directed targeting. *Plant Cell*, 19, 926-942.

Izant, J. G. & Weintraub, H. (1984). Inhibition of thymidine kinase gene expression by antisense RNA: a molecular approach to genetic analysis. *Cell*, 36,1007-1015.

Jackson, A. L., Bartz, S. R., Schelter, J., Kobayashi, S. V., Burchard, J., Mao, M., Li, B., Cavet, G. & Linsley, P. S. (2003) Expression profiling reveals off-target gene regulation by RNAi. *Nat. Biotechnol.*, 21, 635-637.

Jones-Rhoades, M. W., Bartel, D. P. & Bartel, B. (2006). MicroRNAs

and their regulatory roles in plants. *Annu. Rev. Plant Biol.*, 57, 19-53.

Jorgensen, R. A (1995). Cosuppression, flower color patterns, and metastable gene expression states. *Science*, 268, 686-691.

Jorgensen, R. A., Cluster, P. D., English, J, Que, Q. & Napoli, C. A. (1996). Chalcone synthase cosuppression phenotypes in petunia flowers: comparison of sense vs. antisense constructs and single-copy vs. complex T-DNA sequences. *Plant Mol. Biol.*, 31, 957-973.

Jorgensen, R. A., Atkinson, R. G., Forster, R. L. S. & Lucas, W. J. (1998). An RNA-based information superhighway in plants. *Science*, 279, 1486-1487.

Kamath, R. S., Fraser, A. G., Dong, Y., Poulin, G., Durbin, R., Gotta, M., Kanapin, A., Le Bot, N., Moreno, S., Sohrmann, M., Welchman, D. P., Zipperlen, P. & Ahringer, J. (2003). Systematic functional analysis of the *Caenorhabditis elegans* genome using RNAi. *Nature*, 421, 220-221.

Klahre, u., Crété, P., Leuenberger, S. A., Iglesias, V. A. & Meins, F., Jr. (2002). High molecular weight RNAs and small interfering RNAs induce systemic posttranscriptional gene silencing in plants. *Proc. Natl. Acad. Sci.*, USA, 99,11981-11986.

Kościańska, E., Kalantidis, K., Wypijewski, K., Sadowski, J. & Tabler, M. (2005). Analysis of RNA silencing in agroinfiltrated leaves of *Nicotiana benthamiana* and *Nicotiana tabacum*. *Plant Mol. Biol.*, 59, 647-661.

Kurihara, Y. & Watanabe, Y. (2004). *Arabidopsis* micro-RNA biogenesis through Dicer-like I protein functions. *Proc. Natl. Acad. Sci.*, USA, 101, 12753-12758.

Lipardi, C., Wei, Q. & Paterson, B. M. (2001). RNAi as random degradative PCR: siRNA primers convert mRNA into dsRNAs that are degraded to generate new siRNAs. *Cell*, 107, 297-307.

Mallory, A. C. & Vaucheret, H. (2006). Functions of microRNAs and related RNAs in plants. *Nat. Genet.*, 38, Suppl: S31-36.

Matzke, M., Kanno, T., Huettel, B., Daxinger, L. & Matzke, A. J. (2007). Targets of RNA-directed DNA methylation. *Curro Opin. Plant Biol.*, 10, 512-519.

Matzke, M. A., Primig, M., Tmovsky, J. & Matzke, A. J. M. (1989). Reversible methylation and inactivation of marker genes in sequentially transformed tobacco plants. *EMBO J.*, 8, 643-649.

Mi, S., Cai, T., Hu, Y., Chen, Y., Hodges, E., Ni, F., Wu, L., Li, S., Zhou, H., Long, C., Chen, S., Hannon, G. J. & Qi, Y. (2008) Sorting of small RNAs into Arabidopsis Argonaute complexes is directed by the 5' terminal nucleotide. *Cell*, 133, 116-127.

Miki, D., Itoh, R. & Shimamoto, K. (2005). RNA silencing of single and multiple members in a gene family of rice. *Plant Physiol.*, 138, 1903-1913.

Mlotshwa, S., Pruss, G. J., Peragine, A., Endres, M. W., Li, J., Chen, X., Poethig, S., Bowman, L. H. & Vance, V. (2008). DICER-LIKE2 plays a primary role in transitive silencing of transgenes in *Arabidopsis*. *PLoS ONE*, 3, e1755.

Moissiard, G., Parizotto, E. A., Himber, C. & Voinnet, O. (2008). Transitivity in Arabidopsis can be primed, requires the redundant action of antiviral Dicer-like 4 and Dicer-like 2, and is compromised by viral-encoded suppressor proteins. *RNA*, 13, 1268-1278.

Montgomery, T. A., Howell, M. D., Cuperus, J. T., Li, D., Hansen, J. E., Alexander, A. L., Capman, E. J., Fahlgren, N., Allen, E. & Carrington, J. C. (2008). Specificity of ARGONAUTE7-miR390 interaction and dual functionality in *TAS3* Trans-acting siRNA formation. *Cell*, 133, 1-14.

Morel, J., Mourrain, P., Béclin, C. & Vaucheret, H. (2000). DNA methylation and chromatin structure affect transcriptional and post-transcriptional transgene silencing in Arabidopsis. *Curr. Biol.*, 10, 1591-1594.

Mourrain, P., Béclin, C., Elmayan, T., Feuerbach, F., Godon, C., Morel, J., Jouette, D., Lacombe, A., Nikic, S., Picault, N., Rémoué, K.,

Sanial, M., Vo, T. & Vaucheret, H. (2000). *Arabidopsis* SGS2 and SGS3 genes are required for posttranscriptional gene silencing and natural virus resistance. *Cell*, 101, 533-542.

Napoli, C., Lemieux, C. & Jorgensen, R. (1990). Introduction of a chimeric chalcone synthase gene into *Petunia* results in reversible co-suppression of homologous genes in *trans*. *Plant Cell*, 2, 279-289.

Oka, S., Hirai, S., Choi, K. S. & Kodama, H. (2008). Preferential spreading of RNA silencing into the 3' downstream region of the transgene in tobacco. *J. Plant Biol.*, 51, 227-232.

Parizotto, E. A., Dunoyer, P., Rahm, N., Himber, C. & Voinnet, O. (2004). In vivo investigation of the transcription, processing, endonucleolytic activity, and functional relevance of the spatial distribution of a plant miRNA *Gene Dev.*, 18, 2237-2242.

Peragine, A., Yoshikawa, M., Wu, G., Albrecht, H. L. & Poethig, R. S. (2004). SGS3 and SGS2/SDE1/RDR6 are required for juvenile development and the production of *transacting* siRNAs in *Arabidopsis*. *Genes Dev.*, 18, 2368-2379.

Petersen, B. O. & Albrechtsen, M. (2005). Evidence implying only unprimed RdRP activity during transitive gene silencing in plants. *Plant Mol. Biol.*, 58, 575-583.

Qiu, S. & Lane, T. (2007). Implications of phase transitions in knockdown networks of transitive RNAi. *IEEE Trans. Nanobiosci.*, 6, 68-76.

Que, Q. & Jorgensen, R. A. (1998). Homology-based control of gene expression patterns in transgenic *petunia* flowers. *Dev. Genet.*, 22, 100-109.

Reddien, P. W., Bermange, A. L., Murfitt, K. J., Jennings, J. R. & Sánchez Alvarado, A. (2005). Identification of genes needed for regeneration, stem cell function, and tissue homeostasis by systematic gene perturbation in planaria. *Dev Cell*, 8, 635-649.

Sanders, M., Maddelein, W., Depicker, A., Montagu, M. V., Cornelissen, M. & Jacobs, J. (2002). An active role for endogenous β -1,

3-glucanase genes in transgene-mediated cosuppression in tobacco. *EMBO J.*, *21*, 5824-5832.

Saxena, S., Jonsson, Z. O. & Dutta, A (2003). Small RNAs with imperfect match to endogenous mRNA repress translation. *J. Biol. Chem.*, *278*, 44312 - 44319,

Schwach, F., Vaistij, F. E., Jones, L. & Baulcombe, D. C. (2005). An RNA-dependent RNA polymerase prevents meristem invasion by potato virus X and is required for the activity but not the production of a systemic silencing signal. *Plant Physiol.*, *138*, 1842-1852.

Shimamura, K, Oka, S., Shimotori, Y., Ohmori, T. & Kodama, H. (2007). Generation of secondary small interfering RNA in cell-autonomous and non-cell autonomous RNA silencing in tobacco. *Plant Mol. Biol.*, *63*, 803-813.

Sijen, T., Fleenor, J., Simmer, F., Thijssen, K L., Parrish, S., Timmons, L., Plasterk, R. H. A. & Fire, A. (2001). On the role of RNA amplification in dsRNA-triggered gene silencing. *Cell*, *107*, 465-476.

Smith, N. A., Singh, S. P., Wang, M. B., Stoutjesdijk, P. A, Green, A. G. & Waterhouse, P. M. (2000) Total silencing by intron-spliced hairpin RNAs. *Nature*, *407*, 319-320.

Song, J., Smith, S. K., Hannon, G. J. & Joshua-Tor, L. (2004). Crystal structure of Argonaute and its implications for RISC slicer activity. *Science*, *305*, 1434-1437.

Tang, G., Reinhart, B. J., Bartel, D. P. & Zamore, P. D. (2003). A biochemical framework for RNA silencing in plants. *Genes Dev.*, *17*, 49-63.

Tomita, R., Hamada, T., Horiguchi, G., Iba, K & Kodama, H. (2004). Transgene overexpression with cognate small interfering RNA in tobacco. *FEBS Lett.*, *573*, 117-120.

Vaistij, F. E., Jones, L. & Baulcombe, D. C. (2002). Spreading of RNA targeting and DNA methylation in RNA silencing requires transcription of the target gene and a putative RNA-dependent RNA polymerase. *Plant Cell*, *14*, 857-867.

Van Der Krol, A. R., Mur, L. A., Beld, M., Mol, J. N. M. & Stuitje, A. R. (1990). Flavonoid genes in petunia: addition of a limited number of gene copies may lead to a suppression of a gene expression. *Plant Cell*, 2, 291-299.

Van Houdt, H., Bleys, A & Depicker, A (2003). RNA target sequences promote spreading of RNA silencing. *Plant Physiol.*, 131, 245-253.

Vazquez, F., Vaucheret, H., Rajagopalan, R, Lepers, C., Gascioli, V., Mallory, A. C., Hilbert, J., Bartel, D. P. & Cr  t  , P. (2004). Endogenous trans-acting siRNAs regulate the accumulation of *Arabidopsis* mRNAs. *Mol. Cell*, 16, 69-79.

Voinnet, O., Vain, P., Angell, S. & Baulcombe, D. C. (1998). Systemic spread of sequence-specific transgene RNA degradation in plants is initiated by localized introduction of ectopic promoterless DNA *Cell*, 95, 177-187.

Wang, E. & Wagner, G. J. (2003). Elucidation of the functions of genes central to diterpene metabolism in tobacco trichomes using posttranscriptional gene silencing. *Planta*, 216, 686-691.

Wassenegger, M. & Krczal, G. (2006). Nomenclature and functions of RNA-directed RNA polymerases. *Trends Plant Sci.*, 11, 142-151.

Waterhouse, P. M., Smith, N. A. & Wang, M. B. (1999). Virus resistance and gene silencing: killing the messenger. *Trends Plant Sci.*, 4, 452-457.

Xie, Z., Johansen, L. K., Gustafson, A. M., Kasschau, K. D., Lellis, A. D., Zilberman, D., Jacobsen, S. E. & Carrington, J. C. (2004). Genetic and functional diversification of small RNA pathways in plants. *PLoS Biol.*, 2, 642-652.

Xu, P., Zhang, Y., Kang, L., Roossinck, M. J. & Mysore, K. S. (2006) Computational estimation and experimental verification of off-target silencing during posttranscriptional gene silencing in plants. *Plant Physiol.*, 142, 429-440.

Yoshikawa, M., Peragine, A, Park, M. Y. & Poethig, R. S. (2005).

A pathway for the biogenesis of trans-acting siRNAs in *Arabidopsis*.
Gene Dev., 19, 2164-2175.

Yu, B., Yang, Z., Li, J., Minakhina, S., Yang, M., Padgett, R. W., Steward, R. & Chen, X. (2005). Methylation as a crucial step in plant microRNA biogenesis. *Science*, 307, 932-935.

Zamore, P. D. (2002). Ancient pathways programmed by small RNAs. *Science*, 296, 1265-1269.

الفصل الثالث عشر

استراتيجيات المراحل المتأخرة في عملية لتنقية بروتينات
مأشوبة من ذرة معدلة جينياً : تقييم كروماتوغرافي لربيطه
ألفه حمض 4 - أمينو - فينيل - أوكزانيليك

Dimitris Platis and Nikolaos E. Labrou(*)

Laboratory of Enzyme Technology, Department of Agricultural
Biotechnology,
Agricultural University of Athens, 75 Iera Odos, GR 118 55
Athens, Greece

ملخص

ترسخ في العقد الماضي استعمال النباتات المعدلة جينياً لإنتاج بروتينات علاجية
مأشوبة وإنزيمات تقنية. فمنظومات النبات مجدية اقتصادياً من حيث إنتاج الكتلة
الحيوية، وهي لا تؤوي العوامل المرضية البشرية. وللاستفادة من مزايا المنظومات
القائمة على النبات في عمليات الإنتاج المتقدمة، من الضروري إجراء تنقية المنتجات
المركبة النهائية باقتصاد، لأن عمليات التنقية يمكن أن تمثل 50%-80% من التكاليف
الكلية لخط الإنتاج الواسع النطاق. وفي دراسة الحالة الواردة في هذه المقالة، نقيم
مقدرة ربيطة حمض ال 4 - أمينو - فينيل - أوكزانيليك، المرتبطة بالسيفاروز -CL
6B بواسطة 1،3،5 - ترايكلورو - 2،4،6 - تريازين المنتج حيويًا، على ربط وتنقية

(*) المؤلف المراسل : E-mail: lambrou@aua.gr ، Tel./fax +30 210 5294308

مضاد الأجسام (mAb 2F5) البشري الوحيد النسيلة والمضاد للـ HIV من مستخلصات ذرة مشوبة. وضمن ظروف مختارة، أبدى ممتز الألفة انتقائية عالية لـ mAb2F5 وحققت درجة عالية من التنقية (نقاوة أكبر من 90%) واستعادة (أكبر من 90%) في خطوة واحدة بملح كلور البوتاسيوم (KCl) من مستخلصات ذرة مشوبة.

مختصرات:

mAb 2F5: مضاد أجسام بشري أحادي النسيلة 2F5 مضاد HIV.

NA: نيورامينيداز (Neuraminidase).

SDS-PAGE: هجرة كهربائية لهلام صوديوم دوديسيل سلفات بولي أكريلاميد (Sodium Dodecyl Sulfate Polyacrylamide Gel Electrophoresis).

1- تقديم

1.1 استعمال النباتات المعدلة جينياً كمفاعلات حيوية

ينطوي استعمال النباتات كمصانع جزيئية (مفاعلات حيوية) لإنتاج بروتينات علاجية على عدد من المزايا منها انعدام التلوث بعوامل الأمراض البشرية، وانخفاض تكلفة الإنتاج، وإمكان التوسع في العملية، وذلك مقارنة بمنظومات الإنتاج المتوافرة حالياً، والقائمة على خطوط الخلايا (أي خلايا ثدييات وجراثيم) [1-5]. وثمة أمثلة كثيرة لبروتينات ثدييات تقوم بوظائفها كاملة في النبات، من طليعة الإنسولين Proinsulin [1] حتى المضادات الحيوية المتعددة السلاسل البروتينية [2] (انظر الجدول 1 على سبيل المثال).

الجدول 1: أمثلة لبروتينات مُنتجة في نباتات معدلة جينياً.

الشركة/ المرجع	منظومة النبات المضيف	مولد الجسم المضاد
[44]	تبغ	مولد سطحي لمضاد العقدي SAI/II (Streptococcus Surface Antigen SAI/II)
[45]	فول صويا، رز	فيروس هربس البسيط (Herpes Simplex Virus)

Large Scale Biology Corporation, CA [46]	تبغ، متعضي فيروسي	أنماط ذاتية لمفومية لا هودجكينزية (Non-Hodgkins Lymphoma Idiotypes)
[47]	فضة، برسيم	غلوبولين مناعي G بشري (Human IgG)
[49، 48]	ذرة، تبغ	مضاد نقص مناعة بشري 2G12 (Human anti-HIV 2G12 antibody)
[50]	تبغ	إستر فوسفونات منخفض الوزن الجزيئي (Low Molecular Weight Phosphonate ester)
[51]	تبغ	مضاد سطحي B لفيروس التهاب الكبد (Hepatitis B Virus Surface Antigen)
[52]	تبغ	كيناز كرياتين بشري (Human Creatine Kinase)
[53]	تبغ	التصاق العقيدية الطافرة (S. Mutans Adhesion)
[54]	تبغ	ناشبة أسيتيل (4-هيدروكسي-3-نيتروفينيل) (NP (4-hydroxy-3-nitrophenyl) Acetyl Hapten)
[55]	ذرة	البروتين البنيوي VP1 لفيروس مرض القدم والفم (Foot and Mouth Disease Virus VP1 Structural Protein)

[56]	بطاطا	بروتين قفيصة الفيروس العجلية (VP6) Rotavirus Capsid Protein VP6)
[57]	ذرة	أبروتينين (Aprotinin)
[58]	ذرة	تريسين (Trypsin)
[59]	ذرة	أفيدين (Avidin)
[60]	فصة	(Mannheimia Haemolytica OS60 outer Membrane Lipoprotein)
[61]	تبغ	مضاد الأجسام الأحادية السليلة 2F5 المضاد لنقص المناعة (Anti-HIV-1 Monoclonal Antibody 2F5)
[62]	بدور فول الصويا	عامل نمو الأرومة الليفية الأساسي (Basic Fibroblast Growth Factor)

دُرست عدة نباتات مختلفة لتكون مضيفات لتكوين بروتينات مأشوبة، منها نباتات ورقية (تبغ، فصة، خس)، وحبوب (رز، قمح، ذرة)، وبقول (بازلاء، فول صويا)، وفواكه وخضروات (بطاطا، بندورة، موز) [3، 4، 5]. والذرة هي مرشح قوي لتركيب وإنتاج البروتينات الصيدلانية (صيدلة تجزئية تجارية)، ويعود ذلك

جزئياً إلى مردود الكتلة الحيوية العالية وسهولة التحويل والتعامل الجيني خارج الجسم الحي، إضافة إلى سهولة التوسع في العملية. وهي تسمح أيضاً بالخنز المستقر الطويل الأجل للبروتينات المكوّنة في البذور، حتى عند درجة حرارة الغرفة، وذلك خلافاً للنباتات الورقية. إلا أن حبوب الذرة تفتقر إلى المركبات المتعددة الفينولات (الأصبغة مثلاً) التي تؤثر كثيراً في أنشطة البروتين المأشوب. لكن وجود الفينولات والأصبغة يسبب مشكلات أثناء التنقية الكروماتوغرافية، لأنها ترتبط بقوة بالحاضنات الكروماتوغرافية، ويمكن أن تُضفي عليها خواص تبادل الأيونات. وقد استعملت الذرة فعلاً في الإنتاج التجاري للأفيدين وغلوكورونيداز بيتا التجاريين [6، 7]، ومضادات الأجسام المأشوبة [8] وغيرها من الإنزيمات [9].

وخلال العقد السابق، سُوّقت بروتينات علاجية مأشوبة أُنتجت بواسطة منظومات تعديل جيني نباتية، وما زال الكثير منها قيد التطوير [10، 11، 12]. وللاستفادة من التطورات المهمة في المفاعلات الحيوية النباتية في إنتاج بروتينات علاجية، يجب إيجاد طريقة لتجاوز مشكلة زيادة الكتلة الحيوية المتأصلة في منظومات التعديل الجيني النباتية، أو للتعامل معها. فالحاجة المستمرة إلى جرعات كبيرة من المستحضرات الصيدلانية الدوائية أو المعالجة المديدة بها (من مثل مضادات الأجسام الوحيدة النسيلة) تتطلب منصة إنتاج تكاليفها مقبولة. وبغياب تكنولوجيا العمليات المتأخرة في تنقية المنتج النهائي فعالة واقتصادية، فإن المزايا الاقتصادية لاستعمال مفاعلات حيوية نباتية لن تكون أكيدة على الأغلب. ولناقشة بعض هذه الأمور، حاول عدد من الباحثين خلال السنوات الماضية تطوير ريبطات منتجة حيويًا وتتصف بارتباط متخصص بالبروتينات العلاجية موضوع الاهتمام (الجدول 2) ويمكنها أن تحل محل طرائق العزل الكروماتوغرافية المعتادة. على سبيل المثال، استُعملت كيمياء توافقية (Combinatorial Chemistry) للطور الصلب الموجه بنويًا لبناء مكتبة ريبطات ألفة واعدة منتجة حيويًا متعددة الأنواع تقوم على التريازين-1،3،5 بوصفها منصة للتجميع [X-Trz-Y]، ويُختار X و Y من مكتبة حموض أمينية]. وقد استُعملت مكوّنات من هذه المكتبة من أجل التنقية الاثتلافية (Affinity Purification) لعدة بروتينات [13].

الجدول 2: أمثلة لربيطات منتجة حيويًا.

المرجع	استعمال التنقية	الطبيعة الكيميائية	الربيطة المنتجة حيويًا
[64، 63]	نازع هيدروجين الكحول (Alcohol Dehydrogenase)	تعديل الحلقة الطرفية بحمض أمينوبنزويك-m (Terminal Ring Modification with m-Aminobimzoic Acid)	صبغة سيبارون بلو 3GA (Cibacron Blue) 3GA
[20]	إنزيم بلمرة دنا تاك (Taq DNA Polymerase)	مركب بتعويض حمض 9-أمينوإيثيل غوانين وحمض أنيلين-2-سولفانيليك على منصة تريازين (Synthesised by substitution of 9-Aminoethylguanine and Aniline-2-Sulfonic Acid on a Triazine Scaffold)	ممتاز ائتلاف mABSGu (Affinity Adsorbent)
[65]	إنزيم بلمرة دنا Pfu (Pfu DNA polymerase)	مركب بتعويض حمض 9-أمينوإيثيل غوانين وحمض سولفانيليك على منصة تريازين (Synthesised by Substitution of 9-Arninoethy ladenine and Sulfanilic Acid on a Triazine Scaffold)	ممتاز ائتلاف (oABSAAd oABSAAd affinity adsorbent)
[66]	إنزيم هاضم الإلاستين بنكرياس الخنزير (Porcine Pancreatic Elastase)	مركب بتعويض ألانيل-ألانين وترايبتامين على منصة تريازين (Synthesised by Substitution of Alanyl-alanine and Tryptamine on a Triazine Scaffold)	الربيطة C4/6 (Ligand C4/6)

[67]	عامل التخثر البشري VII (Human Clotting Factor VII)	مركب بتعويض حمض 2-أمينو-3-نفتاويك و-2- أمينوبنزيמידازول على منصة تريازين (Synthesised by Substitution of 2-Amino 3-naphthoic Acid and 2-Aminobenzimidazole on a Triazine Scaffold)	الربطة 5 / 5 (Ligand 5/5)
[68]	هرمون تحفيز إنتاج الخلايا الحمراء في الكليتين (Erythropoietin)	فينيلبورونات (Phenylboronate)	فينيلبورونات أغاروز (Phenylboronate agarose)
[13]	مضاد أجسام 2F5 أحادي النسيلة مضاد لنقص المناعة (Anti-HIV Onoclonal Antibody 2F5)	مركب بتعويض حمض دكربوكسي-أسبراتيكي على منصة Phe-Trz-X (Synthesised by Substitution of Decarboxy- Aspartic Acid on a Phe- Triazine-Xscaffold)	الربطة Phe-Trz- Asp (Phe-Trz-Asp ligand)
[38]	إنزيم إنفلونزا الخنازير H1N1 (Influenza Neuraminidase H1N1)	مركب بتعويض إيزوليوسين على منصة Phe-Trz-X (Synthesised by substitution of isoleucine on a Phetriazine-X scaffold)	الربطة Phe-Trz-Ile (Phe-Trz-Ile ligand)
[69]	مقاوم ألفة الفيروسات في الحيوانات (Interferon-a)		الربطة الخضراء 1 المقلدة A6XL (Mimetic Green 1 A6XL)
[72,30, 71,70]	مضادات أجسام أحادية السلسلة، غلوبولين مناعي بشري (Mabs, Human IgG)	هستيدين أو هيستامين مثبت على ركيزة سيفاروز (Immobilized Histidine or Histamine on Activated Sepharese)	هستيدين (هيستامين) (Histidine Histamine)

[57,74,73]	<p>ربيطات الألفة فاعلة للإنزيمات التي تكشف مجموعات الكربوكسيل والكتو كاربوكسيل (Effective Affinity Ligands For Carboxyl and Ketocarboxyl-Group Recognizing Enzymes)</p>	<p>الجزء الطرفي المنتج حيويًا يحمل بنية كربوكسيل أو حمض كيتو متصلة بحلقة التريازين (The Terminal Biomimetic Moiety Bears A Carboxyl or A Ketoacid Structure Linked to the Triazine Ring)</p>	<p>أصبغة كيتو كاربوكسيلية كيمييرية منتجة حيويًا (Chimeric Ketocarboxyl Biomimetic Dyes)</p>
[76]	<p>فصل التريسين من كيموتريسين من مستخلص بنكرياس بقري (Trypsin was Separated from Chymotrypsin from Bovine Pancreatic Extract)</p>	<p>بنزاميدين موصول مع حلقة كلوروتريازين تفاعلية عبر مجموعة داي أمينوميثيلبنزن (Benzamidine Linked to Reactive Chlorotriazine Ring Via Diaminomethylbenzene Group)</p>	<p>صبغة صفراء أيونية موجبة منتجة حيويًا (Biomimetic Cationic Yellow dye)</p>
[77]	<p>نازع هيدروجين غالاكتوز بيتا منقى بمرحلتين كروماتوغرافيتين بإنتاجة 97% وتقية بـ 979 ضعفاً. (β-Galactose Dehydrogenase Purified In Two Chromatographic Steps with 97% Yield And 979-Fold Purification)</p>	<p>أصبغة أنثراكوينون غالاكتوسيل منضجة حيويًا تحمل غالاكتوز ملائمًا موصول عبر موقعي سكر C-1 و C-1 (Anthraquinone GalactosylBiomimetic dyes Bearing Suitable Galactose Analogues Linked Via C-1 And C-2 Sugar Positions)</p>	<p>ربيطات منتجة حيويًا للإنزيمات الكاشفة للغالاكتوز (Biomimetic Ligands for Galactose Recognizing Enzymes)</p>

[19,78]	غلوبولين مناعي G، غلوبولين مناعي A، غلوبولين مناعي M (IgG, IgA, IgM)	مركبة بتعويض حمض 3-أمينو فينول وأمينو نافتول على منصة تريازين (Synthesised by Substitution of 3-Aminophenol and Aminonaphthol on a Triazine Scaffold)	الربطة 8 / 22 (SpA) (صنعي) (Ligand 22/8 (Artificial SpA)
[79,80]	غلوبولين مناعي G، فاب (IgG, Fab)	مركبة بتعويض حمض 4-أمينو بنزamide و4-بوتريك على منصة تريازين (Synthesised by Substitution of 4-Aminobenzamide and 4-Aminobutyric acid on a Triazine Scaffold)	الربطة 7 / 8 (PpL) (صنعي) (Ligand 8/7 (Artificial PpL)
[81]	غلوبولين مناعي G متعدد النسائل (Polyclonal IgG)	مشتق ثلاثي كلور تريازين ثنائي مجموعة التعويض (Di-substituted phenolic derivative of tri- chlorotriazine)	MAbsorbent® A2P

2.1 العمليات المتأخرة في تنقية البروتينات النهائية المنتجة في النباتات المعدلة جينياً

توجب تنقية البروتينات المنتجة في منظومات استنبات الخلايا من المواد الطائفة سائل الاستنبات، وتلك عملية غالية. ويمكن جعل النباتات تُخزّن البروتينات ضمن سويداء البذرة حيث يمكن استخلاصها بسهولة. ومع ذلك فيتمثل أن تكون التنقية خطوة عالية التكلفة، ولذا يجري تطوير طرائق مختلفة لتجاوز هذه المشكلة. وتتكوّن المراحل المتأخرة في التنقية النباتية العامة من عزل نسيج النبات الذي يحتوي على البروتين المأشوب، وتجزئة النسيج، واستخلاص البروتين موضوع الاهتمام، وتصفية المستخلص الخام، وأخيراً تنقية البروتين المأشوب (الشكل 1). وتشتمل إجراءات العزل تلك غالباً على عدة

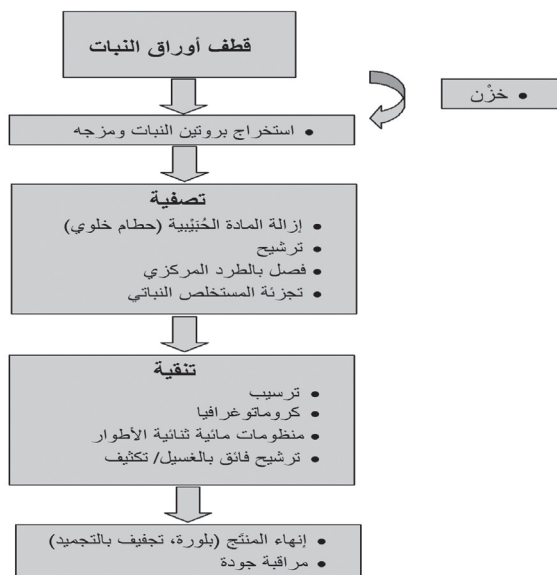
خطوات تجزئة منها خطوات كروماتوغرافية. وأكثر التقنيات الكروماتوغرافية استعمالاً هي المبادلة الأيونية، وكروماتوغرافيا الألفة وكروماتوغرافيا التفاعل المتبادل النفور من الماء. أما المحدودية الرئيسية لمعظم أنواع الكروماتوغرافيا فهي افتقارها إلى التخصص بروتين واحد فقط، إلا أن كروماتوغرافيا الألفة تتجاوز هذه المحدودية. يقوم مفهوم كروماتوغرافيا الألفة على وجود تفاعلات متخصصة عكوسة وغير تشاركية بين البروتين والربطة موضوع الاهتمام [14، 15]. وطبيعة التفاعل يجعل الارتباط غير التخصصي أصغرياً، ولذا يستبعد الملوثات غير المرغوب فيها. وإلى جانب استعمال ريبطات متخصصة حيويًا، وبالتحديد الربطات الطبيعية التي تشارك في تفاعلات حيوية مع البروتين موضوع الاهتمام، اكتسبت الربطات المنتجة حيويًا في الآونة الأخيرة أيضاً اهتماماً ملحوظاً (الجدول 2). والربطات المنتجة حيويًا هي جزيئات مفصلة وفق الحاجة أو مصممة بطرائق تجميعة أو منطقية تحاكي التعارف الحيوي الطبيعي بين البروتين المستهدف والربطة الطبيعية. ومن مزاياها الهامة انخفاض تكاليف الإنتاج وسهولة التعقيم في المكان، والمقاومة الكبيرة جداً للتفكك الكيميائي والكيميائي الحيوي، إضافة إلى السمية المنخفضة والاستمناع (Immunogenicity).

والكروماتوغرافية الألفة للبروتين A هي أكثر الطرائق انتقائية لتنقية مضادات الأجسام، وهي تُستعمل غالباً في الخطوة الكروماتوغرافية الأولى لتسهيل تنقية الأجسام المضادة. إلا أنها تنطوي على عيوب سيئة مثل استقرار الربطة والتكلفة، لأن راتينج (Resin) البروتين A غالٍ جداً وعرضة للتفكك الحيوي والكيميائي. يُضاف إلى ذلك أن ارتشاح ربيطة البروتين A قد أثار قلقاً كبيراً لأنه يمكن أن يؤدي إلى استجابات مناعية لدى الإنسان، وتبين أنه سام في العديد من التجارب الطبية [16]. وقد طُوِّرت عدة ريبطات بالإنتاج الحيوي لاستعمالها خصيصاً في عزل الغلوبولينات المناعية immunoglobulin، وربما تحل محل البروتين A، ومحل بروتينات علاجية أخرى [17، 18، 19، 20، 21].

وسوف نَصِف في الدراسة الحالية تركيب ممتز الألفة مع حمض 4-أمينو-فينيل-أوكزالينيك مثبت، وتقييمه في تنقية بروتينات علاجية من مثل mAb 2F5 وإنزيم نيورامينيداز من فيروس الإنفلونزا. لقد برز تثبيط اندماج فيروس نقص المناعة البشري HIV مع الخلية المضيفة بوصفه استراتيجية علاجية عملية، وأصبح تطوير مضادات أجسام تتداخل مع هذه العملية على درجة عالية من الأهمية في بحوث مضادات الفيروسات. لكن حتى الآن، لم تُحدّد سوى بضعة مضادات أجسام قادرة على التحييد الواسع النطاق وفعالة في مواجهة المستفردات (Isolates) [22]. ومضاد الأجسام البشري الأحادي النسيلة 2F5

هو أكثرها توصيفاً بالتفصيل. فهو يحدّد مجموعة واسعة من سلالات HIV-1 الرئيسية [22]، [23، 24]، ويمكن لتسريبه غير النشط، مع mAbs محيِّدة أخرى، أن يمنع العدوى. والطور I من تجربة طبية لـ mAb 2F5 بالاشتراك مع mAb 2G12، الموجهَّين إلى الغليكوبروتين gp120، هي قيد التنفيذ حالياً [25]. لذا فإن مضاد الأجسام هذا يمثل عامل علاج واعد، ويمثّل البحث عن جينات مناعية قادرة على تحريض استجابة مناعية كاستجابة mAb 2F5 هدفاً رئيسياً لبرامج لقاحات مرض نقص المناعة.

وقد ثبت أن نيورامينيداز الإنفلونزا (Influenza Neuraminidase) (NA) هو هدف علاجي جيد بوصفه عقاراً مضاداً للفيروسات بسبب دوره الأساسي في دورة التناسخ الفيروسية [26]. يقوم الـ NA بحلّمة الرابطة الغليكوسيدي a-(2,3) أو a-(2,6) بين راسب الحمض السياليكي الطرفي (Terminal Sialic Acid Residue) والفرع الكربوهيدراتي المجاور له على المستقبل المضيف، محسّناً الحركة الفيروسية. وهذه الجزئيات، مع الـ Neu5Ac الطرفية هي مستقبلات مستهدفة من الهياغلوطينين (Hemagglutinin) (HA) [27] أيضاً، وهو الغليكوبروتين السطحي الرئيسي على سطح جسيم فيروسي. ويُدمر الـ NA المستقبلات HA ممكناً من تحرير جسيمات تكاثر فيروسية ناشئة من سطوح الخلايا المصابة [28].



الشكل 1: المراحل المتأخرة في الطريقة العامة لتنقية النباتية. تتألف الطريقة من عزل نسيج النبات الذي يحتوي على البروتين المأشوب، وتجزئة النسيج، واستخراج البروتين موضوع الاهتمام، وتصفية المستخلص الخام، وأخيراً تنقية البروتين المأشوب.

2. تجارب

2.1 المواد

تم الحصول على إبيكلوروهيدرين (Epichlorohydrine)، و1،6-ديامينهكسان (1, 6-Diamine Hexane) و1،3،5-تريكلورو-2،4،6-تريازين (1, 3, 5-Trichloro-2, 4, 6-Triazine)، وحمض 4-أمينو-فينيل - أوكزالينيك (4-Amino-phenyloxanic Acid) وكيماويات أمينية من الشركة سيغما ألدريتش (Sigma-Aldrich). وقدم البروفسور كاتينغر (A. Katinger) والدكتور ستيجلر (Dr. G. Stiegler) (من الشركة Polymun Scientific Inc، النمسا) مشكورين mAb 2F5 البشري الأحادي النسيلة المنقى هدية. وكان الـ NA المأشوب المتجلي في خلايا حشرة [®]expresSF+ هدية نشكر عليه كثيراً شركة علوم البروتين الأمريكية (Protein Sciences Corporation) (Meiden, USA). وأخذت جميع الكيماويات الأخرى ذات النقاوة التحليلية من شركة ميرك (Merck) الألمانية.

2.2 الطرائق

2.2.1 تركيب مميزات الألفة

جرى تثبيت حمض 4-أمينو-فينيل - أوكزالينيك على سيفاروز CL 6B تبعاً للإجراءات العامة المنشورة من قبل (Platis et al., 2006) [13] وفقاً للآتي:

تنشيط الأغاروز

غُسلت كُربّات السيفاروز CL-6B (10 غرامات) جيداً بهاء مضاعف التقطير في أنبوب زجاجي مرشّح، وصُفّي الماء منها. وعُلّقت الكُربّات المغسولة في مول واحد من محلول NaOH (20 ملي ليتر) وجرى هزّها على هزاز دوّار (140 دورة بالدقيقة، 30°C، 10 دقائق). ثم أُضيفت إليها 10 ملي ليتر من محلول إبيكلوروهيدرين (مول واحد) وجرى هز المزيج مدة ساعتين أُخريّين (140 دورة بالدقيقة، 30°C). ثم غُسلت الكُربّات جيداً بهاء مضاعف التقطير لإزالة الإبيكلوروهيدرين الزائد.

تحديد كثافة مجموعة الإبوكسي

حُدّدت كثافة الإبوكسي بمعايرة المؤشر الحمضي الـ pH من قلوي إلى pH 7.0 بـ 0.1 مول من حمض الكلور HCL بعد إضافة ثيوسلفات الصوديوم (1.3)

مول، 9 مِلِّي لِيتراً) إلى 3 غرامات (وزن مبلول) من الهلام، وذلك وفقاً لساندبورغ وآخرين [29] (Sundberg et al.). وحُسيب مقدار مجموعة الإيبوكسي الموجودة من مقدار حمض كلور الماء اللازم للوصول إلى pH 7.0.

الربط مع 1-، 6 ديامينهكسان

أُضيف 0.5 غرام من 1، 6-ديامينهكسان (1,6-diaminehexane) مذاب في ماء مضاعف التقطير (10 مِلِّي لِيتراً) إلى السيفاروز المفعّل بالإيبوكسي. وجرى هز المزيج بهزّاز دوّار (140 دورة بالدقيقة، 30°C، 18 ساعة). وبعد اكتمال التفاعل، غُسل الآغاروز المشتق من 1، 6-ديامينهكسان بماء مضاعف التقطير. واستعمل اختبار نينهيدرين (Ninhydrin) لتحديد كثافة الربيطات الأمينية في كُريّات الآغاروز المشتقة من الـ 1، 6-ديامينهكسان.

تنشيط ب- 1، 3، 5 ديامينهكسان-ترايكلورو- 2، 4، 6- تريازين

عُلّق السيفاروز المشتق من 1، 6-ديامينهكسان في محلول أسيتون/ ماء (1:1، 31 مِلِّي لِيتراً، 0°C) وأُبقي عند درجة الحرارة 0°C في مغطس جليد وكلور الصوديوم. وأُضيف 1، 3، 5-ترايكلورو- 2، 4، 6-تريازين المذاب في الأسيتون (100%، 5 مِلِّي لِيتراً 0°C) على دفعات كل 10 دقائق على مدى ساعتين مع الهز. وبعد اكتمال التفاعل، غُسل الهلام تسلسلياً بـ 50 مِلِّي لِيتراً من مزائج ماء مقطر وأسيتون [1:3، 1:1، 0:1، 1:3، 1:1، 3:1 (نسب حجمية)] من أجل إزالة الـ 1، 3، 5-ترايكلورو- 2، 4، 6-تريازين غير المتفاعل.

الربط مع حمض 4-أمينو-فينيل-أوكزالينيك

أُعيد تعليق 5 غرامات من السيفاروز المفعّل بالديكلوروتريازينيل (Dichlorotriazinyl) في محلول فوسفات واطّ (داريّ) (0.1 مول، pH 8، 20 مِلِّي لِيتراً) مع حمض 4-أمينو-فينيل-أوكزالينيك (0.4 مِلِّي مول مذابة في 10 مِلِّي لِيتراً من الماء؛ وضُبط المؤشر الحمضي الـ pH على القيمة 8 مع 0.1 من NaOH). وجرى هز المزيج على الهزّاز الدوّار (210 دورة في الدقيقة، 30°C) مدة 4 ساعات. وبعد اكتمال التفاعل، سُخّن الهلام إلى الدرجة 70°C من أجل حلمهة الكلور الحر على حلقة التريازين. أخيراً، رُشّح الهلام وغُسل بماء مقطر وحُزن في الماء عند الدرجة 4°C.

2.2.2 استخراج البروتين من الدُّرة

استخرج البروتين تبعاً لبلايس وآخرون [30] (Platis et al., 2008).

3.2.2 دراسات توازن الامتصاص

في كمية حجمها 0.5 مِلِّي لِيْتراً من 20 مِلِّي مُول من Tris-HCl، ذات مؤشّر حمضي 7.2 pH، مُزجت مقادير مختلفة من mAb النقي (2.5-320 µg/ml) المُذاب مسبقاً في 20 مِلِّي مُول من Tris-HCl، ذات مؤشّر حمضي 7.2 pH، مع 10 مِلِّي غرام من ممتز الألفة. وهُزَّت المعلقَات مدة 120 دقيقة من أجل وصول المنظومة إلى التوازن. ثم أُخِضِع المزيج إلى الطرد المركزي (5000 g، 2 دقيقة) وحُدِّد مقدار البروتينات الطليقة في السائل بواسطة تحليل برادفورد (Bradford Assay) [31]. وحُسِب البروتين المترابط بطرح مقدار البروتين الطليق من كمية البروتين المضافة.

4.2.2 تنقية 2F5 mAb من مستخلص دُرّة مشوب

حُمِّل مستخلص دُرّة مشوب [كمية البروتين الكلية فيه تساوي 50 µg/ml، ونسبة الـ 2F5 mAb الوزنية تساوي 5%، في 10 مِلِّي لِيْتراً من 20 مِلِّي مُول من Tris-HCl ذي مؤشّر حمضي 7.5 pH] على ممتز 4-أمينو - فينيل - أوكزالينيك مَثَبَّت (0.5 مِلِّي لِيْتراً من الممتز الرطب). وغُسِلت المجموعة بواسطة داري موازنة قبل الشطف بداري موازنة يحتوي على تراكيز متزايدة من كلوريد البوتاسيوم KCl (20-100 مِلِّي مُول) في داري الموازنة. وجُمِعت نواتج الشطف وحُلِّلت لتحديد وجود الـ 2F5 mAb فيها بواسطة تحليل ممتز المناعة المرتبط إنزيمياً (Enzyme-Linked Immunosorbent Assay) (ELISA) (Platis et al., [32, 13])، وحُدِّد البروتين الكلي بتحليل برادفورد [31].

5.2.2 الهجرة الكهربائية لهلام بولي أكريلاميد سلفات دوديسيل الصوديوم

أُجريت الهجرة الكهربائية لهلام بولي أكريلاميد سلفات دوديسيل الصوديوم (Sodium Dodecylsulfate Polyacrylamide Gel Electrophoresis) (SDS-PAGE) وفقاً لما ورد في المرجعين [13 و 33]. وحُدِّدت نقاوة البروتين في الهلام بقياس الكثافة باستعمال برمجيات تحليل صورة وحيدة البعد (version 3.S; (ID Image) (Kodak Analysis Software).

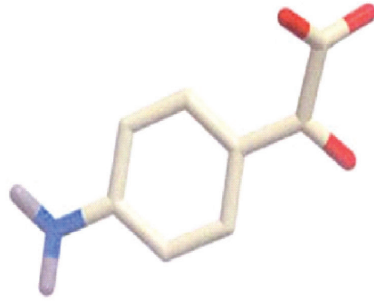
3- النتائج

1.3 تصميم وتركيب ممتز الألفة

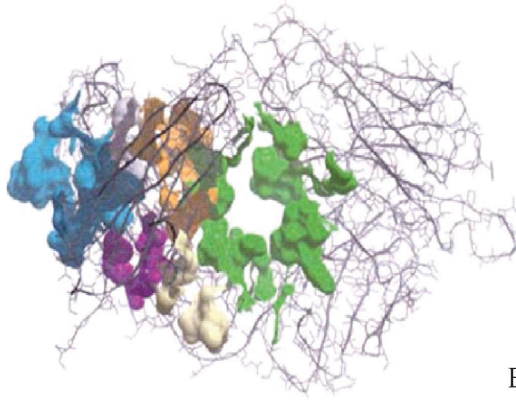
استعملت مشتقات الحمض الأميني العطرية كربيطات ألفة حيوية في كروماتوغرافيا ألفة. فهي جزيئات صغيرة وبسيطة ذات استقرار كيميائي عالٍ وتكلفة منخفضة. وقد أثبت سابقاً أن ربيطات ألفة المختلطة الأنواع المنتجة حيويًا، وهي ربيطات توافر تشكيلة من الوظائف النفورة من الماء والقطبية، تعمل بنجاح في عزل كثير من البروتينات العلاجية، خاصة مضادات الأجسام (الجدول 2). ومن الثابت أن التفاعلات المتبادلة، النفورة من الماء والكهرساكنة، هي القوة الدافعة الرئيسية لامتزاز الـ mAbs على عدة مميزات متألّفة [19، 13].

وبغية تصميم الربيطة، أُجري تحليل حاسوبي حيوي يهدف إلى تحديد وجود جيب رابط ممكن على mAb2F5 قادر على استيعاب ربيطات ألفة كبيرة. وكشف تحليل نموذج mAb2F5 البنيوي بواسطة CASTp [34] وجود عدة جيوب كبيرة إضافة إلى العديد من الجيوب الصغيرة.

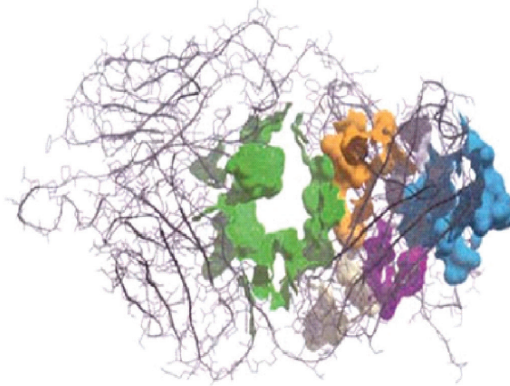
ويُري الشكل 2-B الفجوات التي هي أكبر وأعلى أرجحية في المشاركة في التفاعلات المتبادلة بين البروتينات والربيطات، مع مساحات سطحية لنفاذ المذيب تتراوح من 103.9 حتى 728.8 أنغستروم (سطح ريتشاردز) (Richard's surface). وكشف تحليل النفور من الماء [35] وكمون كولومب الكهرساكن [36] أن تلك الجيوب توافر بيئة مختلطة تتصف بنفورية عالية من الماء وكمون كهرساكن موجب، ولذا توفر ظروفاً جيدة لاستيعاب ربيطات نفورة من الماء سالبة الشحنة. وقادنا هذا إلى تقييم مكتبة من ربيطات ألفة المنتجة حيويًا بسبب مقدرتها على ربط mAb 2F5. وبعد البحث عن ربيطات ألفة في المكتبة (البيانات غير مدرجة) اختيرت ربيطة منتجة حيويًا تحمل حمض 4-أمينو - فينيل - أو كز الينيك متزاوجاً مع 1، 3، 5- ترايكلورو و 6-2، 4، تريازين (الشكل 2-A) من أجل مزيد من الدراسة.



A

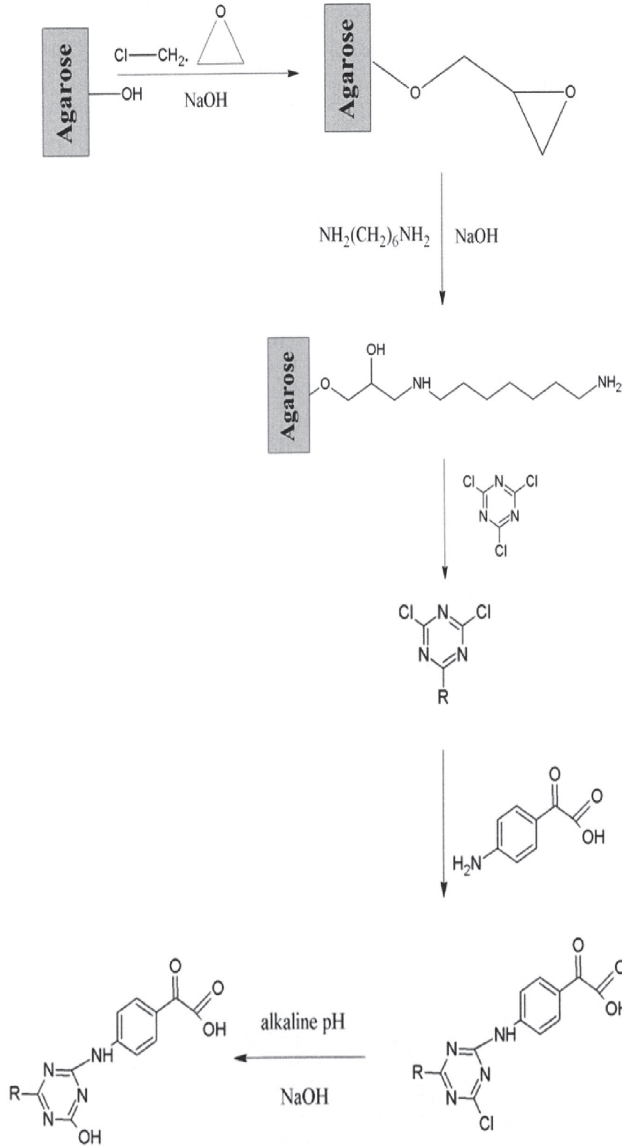


B



C

الشكل 2: (A) بنية ربيطة الألفة حمض -4 أمينو-فينيل-أوكسالينيك. (B) و (C) تحليل نموذج بنيوي mAb 2F5 بواسطة CASTp. الجيوب مبيّنة بألوان مختلفة (B: منظر أمامي، C: منظر خلفي).



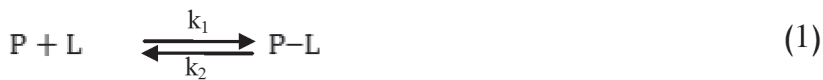
الشكل 3: مسار تركيب الطور الصلب لممتز. ائتلاف.

وُنقذ تركيب ممتز الألفة مباشرة على طور صلب [21,37] وفقاً للميّن في الشكل 3. واختيرت المنصة 1، 3، 5-ريازين بسبب توافرها التركيبي. وعموماً، يمكن إظهار ذرات الكلورين الثلاث في 1،3،5-تريازين بطريقة تسلسلية متحكّم فيها في محلول مائي درجة حرارته 0، 30-50، 60-100 درجة مئوية. ومن مزايا

منصة الـ 1، 3، 5- تريازين تكلفتها المنخفضة واستقرارها العالي في المحاليل الدائرة المحايدة. ويزيد وجود مواقع النتروجين الغنية بالإلكترونات في حلقة التريازين من قدرته على تكوين تأثيرات متبادلة إضافية (روابط هيدروجينية، تأثيرات أمينية عطرية متبادلة على سبيل المثال) مع رواسب الحمض الأميني ضمن موقع ارتباط البروتين [18]. واستُعيض عن أول ذرة كلور شديد التفاعل على الثيوكلوروتريازين عند 0°C (مدة ساعتين) سيفاروز 6B مشتق أمينيا لتكوين سيفاروز 6B مفعّل بالديكلوروتريازينيل، في حين أن الاستعاضة التسلسلية عن ذرة الكلور الثانية على السيفاروز المفعّل بالديكلوروتريازينيل بحمض 4-أمينو - فينيل - أوكزالينيك وذرة الكلور الثالثة بـ OH- أعطت ممتز الألفة المبيّن في الشكل 3.

2.3 دراسات الامتزاز عند التوازن

استُعملت دراسات الامتزاز عند التوازن لتوصيف التفاعل بين الـ mAb و 2F5 والممتز المثبّت. توافر هذه الطريقة علاقة بين تركيز البروتين في المحلول ومقدار البروتين الممتز على الطور الصلب عندما يكون الطوران في حالة توازن [39]، [38]. والنموذج المستعمل غالباً لمنظومات ربيطات الألفة هو التفاعل العكوس من المرتبة الثانية حيث يُفترض أن الإنزيم يؤثر تبادلياً في الربيطة بالمفعول الوحيد التشارك (المعادلة 1) الذي ينطوي على طاقة ربط مميزة:



حيث P هو البروتين في المحلول، وL هي الربيطة، وP-L هو معقد الربيطة والبروتين. والموسطان k_1 و k_2 هما ثابتا المعدّل الأمامي والعكسي لعملية الامتزاز. وتتطلب صيغة معادلة موازنة الكتلة وصفاً مستقلاً لتغيّرات الامتزاز، ويتحقّق ذلك عادة بمواءمة معادلة منحنيات تساوي حرارة الامتزاز مع البيانات المقیسة. رغم وجود عبارات مختلفة لذلك، فإن منحنيات لانغموير عند حرارة ثابتة (Langmuir Isotherm) (المعادلة 2) هي أكثر المعادلات استعمالاً [13، 38، 39]:

$$\frac{dQ}{dt} = k_1 C(Q_{max} - Q) - k_2 Q \quad (2)$$

حيث Q هي كمية البروتين الممتز موضوع الاهتمام، و Q_{max} هي سعة الامتزاز العظمى. في حالة التوازن، تتحقق المعادلة الآتية:

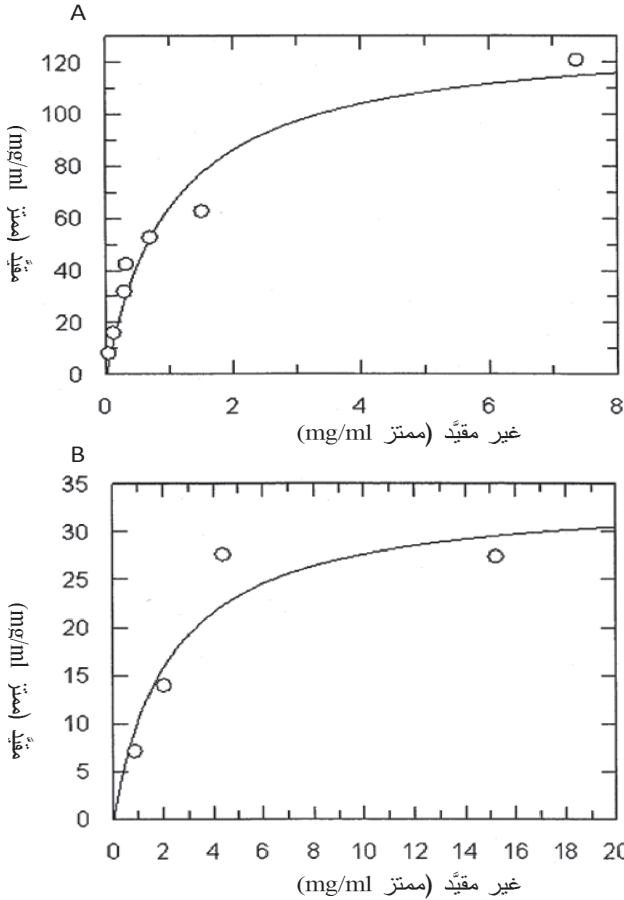
$$Q^* = \frac{Q_{max} C^*}{K_D + C^*} \quad (3)$$

حيث Q^* و C^* هما تركيزا التوازن لجزيئات الطور الممتز والطور الصلب، و K_D هو ثابت التفكك عند التوازن، أي k_1/k_2 .

لقد انطبقت بيانات الامتزاز عند التوازن، في حالة امتزاز الـ mAb 2F5 على الممتز الألوف، جيداً على منحنيات لانغموير. ويُري الشكل 4-A مثلاً نموذجياً للانطباق. وقد أُعطي ثابت التفكك (K_D)، الجدول (3) القيمة 0.12 ميكرو مول، وذلك ضمن المجال الذي يمكن توقُّعه لربطة شديدة الألفة [38، 39، 13]. وساوت مقدرة الممتز النظرية على الارتباط 130.8 mg/ml من أجل ممتز رطب. ويفترض نموذج لانغموير للامتزاز أن الجزيئات تُمتز في عدد صحيح من المواقع النامة التحديد التي يستطيع كل منها استيعاب جزيء واحد فقط. وافترض أيضاً أن تلك المواقع متكافئة طاقياً وبعيدة بعضاً عن بعض، ولذا ليس ثمة من تأثيرات متبادلة في ما بين الجزيئات الممتزة في المواقع المتجاورة [39]. وقد طُوِّر منحنى تَساوي درجة الحرارة هذا أصلاً من أجل امتزازِ جارٍ مستقل وحيد الطبقة للغازات المثالية [40، 41]. أما تطبيق النموذج على بروتين مُذاب في محلول فيجعل المتوسطات ذات الصلة معتمدة على حالة المحلول. ومع أن الافتراضات الخاصة بمنحنيات لانغموير لا تنطبق تماماً على البروتينات، فقد طُبِّقت معادلة لانغموير وحققت نجاحاً معقولاً في كثير من الحالات [42، 13، 30]. وانطبقت بيانات الامتزاز عند التوازن، الخاصة بامتزاز جزء مضادات الأجسام المتعددة السليلات (من الشركة SigmaAldrich) على الممتز الألوف، جيداً على منحنيات لانغموير أيضاً (الشكل 4-B والجدول 3). وهذا يدل على أن ممتز الألفة يمكن أن يُستعمل عموماً من أجل تنقية الأجسام المضادة للأجناس المختلفة.

الجدول 3: ثوابت تفكُّك mAb 2F5 وجزء IgG وإمكاناتها النظرية لربط ممتزات الألفة وفقاً لما حُدِّد في دراسات الامتزاز عند التوازن.

جزء IgG	mAb 2F5	ممتز الألفة المنتَج حيويّاً
0.04±0.32	0.03±0.12	ثابت التفكُّك KD (μM)
37.2	130.8	المقدرة النظرية على الامتزاز Q _{max} (mg/ml)، ممتز (رطب)



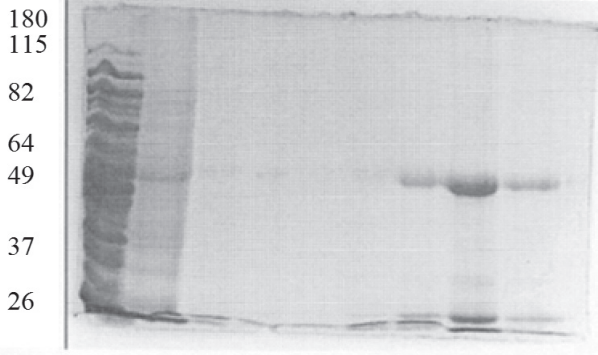
الشكل 4: امتزاز (A) mAb 2F5 وامتزاز جزء (B) IgG على ممتز ألفة حمض 4-أمينو-فينيل-أوكرالينيك، عند التوازن. يصف المنحنيان حالة التوازن في تركيز البروتين في الطور السائل [(C*) ممتز غير مقيّد، μg/ml] في مقابل التوازن في تركيز البروتين في الطور الصلب [(C*) ممتز مقيّد، μg/ml].

3.3 تنقية mAb 2F5 من مستخلص ذرة مشوب

طُبِّق مستخلص ذرة مباشرة على الممتز (مستخلص من حبوب الذرة بتركيز يساوي 50 ميكروغرام من البروتين الكلي للملي لتر مع نسبة وزنية 5% من mAb 2F5 في 10 ملي لتر، 20 ملي مول من دارئ Tris-HCl ذي pH 7.5). وأزيلت البروتينات غير المقيدة بواسطة دارئ موازنة قبل شطف mAb 2F5 بواسطة دارئ موازنة يحتوي على تراكيز متزايدة من KCl (20-100 ملي مول) مع استعادة أكثر من 90%.

واسمات البروتين

(kDa) CR FT W₁W₂ 20 40 60 80 100 mM KCl



الشكل 5: تهجير هلام SDS-Polyacrylamide كهربائياً لتنقية الجسم المضاد mAb 2F5 من مستخلص ذرة خام مشوب بـ mAb 2F5. لُوِّنت نطاقات البروتين بصبغة Coomassie Blue R-250.

CR: مستخلص ذرة خام مشوب؛ FT: الجزء المتدفق؛ W₁ وW₂: جزء الشطف؛ 20-100 nM KCl: أجزاء مشطوفة من عمود الاتلاف مع تراكيز مختلفة لـ KCl.

وأجري تحليل SDS-PAGE لجزء مضادات الأجسام المشطوفة، والنتائج مبيّنة في الشكل 5. وقد بيّن تحليل نقاوة mAb2F5 بتخفيض SDS-PAGE أن الجزء المشطوف كان ذا نقاوة تزيد على 90%. وحُدِّدت النقاوة بقياس الكثافة بواسطة برمجيات معالجة الصورة الوحيدة البعد (1D Image Analysis Software) (version 3.5; Kodak). يُضاف إلى ذلك أن الـ mAb 2F5 لم يكن عرضة للتفكك في أثناء بروتوكول التنقية، وتلك مشكلة غالباً ما تظهر في أثناء تنقية الأجسام المضادة. لكن الإجراءات بسيطة وفعالة وتعطي مضاد أجسام أحادي النسيلة 2F5

ذا نقاوة عالية واستعادة جيدة. وإحدى خطوات الإنهاء الإضافية، وهي ترشيح الهلام، يمكن أن تجعل المنتج النهائي من الدرجة العلاجية وجاهزاً للاختبار في الإنسان. ومما تجدر ملاحظته أن استخلاص مضاد الأجسام الأحادي النسيلة 2F5 خلال العملية الكروماتوغرافية بأسرها تُحقَّق في ظروف يسيرة لا تؤثر في طبيعة المنتج وتحفظ بنيته الأصلية وتحمي عمله الوظيفي، وتلك ميزة مهمة للتطبيقات العلاجية، وذلك مقارنة بطريقة البروتين A التي يمكن أن تعرِّض مضاد الأجسام إلى حموضة ضارة به.

4.3 تطبيق ممتز الاثتلاف على تنقية نيورامينيداز فيروس الإنفلونزا

من أجل مزيد من استعراض كفاءة الممتز، جرى تقييم أداء نيورامينيداز فيروس الإنفلونزا (Influenza Virus Neuraminidase). لقد تبين في الآونة الأخيرة أن النيراميداز المأشوب يمكن أن يجرِّض مضادات نوعية للنيورامينيداز في غياب بروتينات فيروس الإنفلونزا الأخرى، ويُقلِّص تضاعف فيروس الإنفلونزا المتماثل والمتغاير شكلياً في الفئران، ويكبت المرض [43]. لذا فإن تطوير استراتيجية فعالة لتعبير وتنقية النيورامينيداز المأشوب ينطوي على أهمية أكاديمية وعملية. ويمكن لربيطه حمض 4-أمينو - فينيل - أوكزالينيك المنتجة حيوياً أن ترتبط عكسياً مع نيورامينيداز فيروس الإنفلونزا بسعة امتزاز تساوي 5.3 mU/ml وأن تُشطف بنسبة حجمية تساوي 5% من الغليسرول (استعادة 50% تقريباً). وتوحي هذه النتائج بأنه يمكن أن يكون للربيطه استعمال أوسع، ويمكن استغلالها في تنقية البروتينات المختلفة.

خلاصة

من التحديات الرئيسية في صناعة التكنولوجيا الحيوية إنتاج وتنقية بروتينات علاجية مأشوبة نشطة حيوياً. لقد استُعملت البروتينات واللقاحات العلاجية الخلوية طوال أكثر من عشرين عاماً لدرء الأمراض أو شفائها، وذلك لكونها موثوقة وفعالة. أما عيوبها فهي التكلفة العالية ودورة الإنتاج الطويلة. والـ mAb 2F5 هو مرشح واعد مضاد لنقص المناعة الجسدي. إلا أن فائدته في المساعدة على مواجهة وباء نقص المناعة العالمي يعتمد في النهاية على المقدرة على إنتاج ما يكفي من هذا البروتين لتلبية الطلب في كل من الغرب وأفريقيا. ولا يمكن تحقيق هذا الحجم من إنتاج مضادات

الجراثيم والفيروسات إلا باستعمال منظومات التعبير النباتية، لأن النباتات المعدلة جينياً مطواعة على نحو فريد للإنتاج الكمي الكبير والمنخفض التكلفة. ويُري العمل الوارد في هذا الفصل التقدُّم الحاصل نحو تطوير طريقة تنقية اقتصادية وموثوقة وفاعلة للقاح لمرض نقص المناعة قائم على بروتين مأشوب. وتنطوي الطريقة على إمكانات لاستعمالها على نطاق تحضيرى لأنها تستعمل مواد رخيصة الثمن وتوافر، في خطوة كروماتوغرافية واحدة، mAb 2F5 بنقاوة واستعادة جيدتين. لقد أظهرت الكروماتوغرافيا الاتلافية التي تستعمل مميزات منتج حيويًا أنها ذات قيمة كبيرة لتنقية المستحضرات الصيدلانية الحيوية، وسوف تبقى الطريقة المفضلة حتى في المستقبل.

كلمة شكر

يشكر المؤلفان الاتحاد الأوروبي على مساعدته المالية. فقد أنجز هذا العمل ضمن إطار عقد بحوث النباتات الصيدلانية (Pharma-Planta Research Contract) (No 503565).

مراجع

- [1] Farinas, CS; Leite, A; Miranda, EA. Aqueous extraction of recombinant human proinsulin from transgenic maize endospenn. *Biotechnol.Prog.*, 2005, 21, 1466-1471.
- [2] Ma, JK; Drake, PM; Christou, P. The production of recombinant pharmaceutical proteins in plants. *Nat. Rev. Genet.*, 2003,4, 794-805.
- [3] Evangelista, R. L; Kusanadi, AR; Howard, JA; Nikolov, ZL. Process and economic evaluation of the extraction and purification of recombinant beta-glucuronidase from transgenic com. *Biotechnol. Prog.*, 1998, 14, 607-614.
- [4] Stoger, E; Sack, M; Nicholson, L; Fischer, R; Christou, P. Recent progress in plantibody technology. *Curr.Pharm.Des.*, 2005, 11, 2439-2457.
- [5] Stoger, E; Ma, JK; Fischer, R; Christou, P. Sowing the seeds of success: pharmaceutical proteins from plants. *Curr.Opin.Biotechnol.*, 2005, 16, 167-173.
- [6] Hood, EE. Commercial production of avidin from transgenic

maize: characterization of transformant, production, processing, extraction and purification. *Mol., Breed.*, 1997, 3, 291-306.

[7] Witcher, D. Commercial production of b-glucuronidase (GUS): a model system for the production of proteins in plants. *Mol.Breed.*, 1998, 4, 301-312.

[8] Hood, EE; Woodard, SL; Horn, ME. Monoclonal antibody manufacturing in transgenic plants--myths and realities. *Curr. Opin. Biotechnol.*, 2002, 13, 630-635.

[9] Hood, EE. From green plants to industrial enzymes. *Enzyme and Microbial Technol.*, 2002, 30, 279-283.

[10] Fischer, R; Stoger, E; Schillberg, S; Christou, P; Twyman, RM. Plant-based production of biopharmaceuticals. *Curr. Opin. Plant Biol.*, 2004, 7, 152-158.

[11] Ma, JK; Barros, E; Bock, R; Christou, P; Dale, PJ; Dix, PJ; Fischer, R; Irwin, J; Mahoney, R; Pezzotti, M; Schillberg, S; Sparrow, P; Stoger, E; Twyman, RM. Molecular farming for new drugs and vaccines. Current perspectives on the production of pharmaceuticals in transgenic plants. *EMBO Rep.*, 2005, 6, 593-599.

[12] Twyman, RM; Stoger, E; Schillberg, S; Christou, P; Fischer, R. Molecular farming in plants: host systems and expression technology. *Trends Biotechnol.*, 2003, 21, 570-578.

[13] Platis, D; Sotriffer, CA; Clonis, Y; Labrou, NE. Lock-and-key motif as a concept for designing affinity adsorbents for protein purification. *J Chromatogr. A*, 2006, 1128, 138-151.

[14] Cuatrecasas, P; Wilchek, M; Anfinsen, CB. Selective enzyme purification by affinity chromatography. *Proc. Natl. Acad. Sci. U.S.A.*, 1968,61,636-643.

[15] Hage, DS. & Cazes, J. (Eds.) (2005). *Handbook of Affinity Chromatography* (2nd Ed.). New York: Marcel Dekker.

[16] Terman, DS; Bertram, JH. Antitumor effects of immobilized protein A and staphylococcal products: linkage between toxicity

and efficacy, and identification of potential tumoricidal reagents. *Eur.J.Cancer Clin.Oncol.*, 1985, 21, 1115-1122.

[17] Labrou, NE; Clonis, YD. Biomimetic dye affinity chromatography for the purification of bovine heart lactate dehydrogenase. *J. Chromatogr. A*, 1995, 718, 35-44.

[18] Labrou, NE. Design and selection of ligands for affinity chromatography. *J. Chromatogr. B Analyt. Technol. Biomed. Life Sci.*, 2003, 790, 67-78.

[19] Li, R; Dowd, V; Stewart, DJ; Burton, SJ; Lowe, CR. Design, synthesis, and application of a protein A mimetic. *Nat. Biotechnol.*, 1998, 16, 190-195.

[20] Melissis, S; Labrou, NE; Clonis, YD. One-step purification of Taq DNA polymerase using nucleotide-mimetic affinity chromatography. *Biotechnol. J*, 2007, 2, 121-132.

[21] Teng, SF; Sproule, K; Husain, A; Lowe, CR. Affinity chromatography on immobilized "biomimetic" ligands. Synthesis, immobilization and chromatographic assessment of an immunoglobulin G-binding ligand. *J Chromatogr. B Biomed. Sci. Appl.*, 2000, 740, 1-15.

[22] Trkola, A; Pomales, AB; Yuan, H; Korber, B; Maddon, PJ; Allaway, GP; Katinger, H; Barbas, CF., III; Burton, DR; Ho, DD., Cross-clade neutralization of primary isolates of human immunodeficiency virus type 1 by human monoclonal antibodies and tetrameric CD4-IgG. *J. Virol.*, 1995, 69, 6609-6617.

[23] Conley, AJ; Kessler, JA; Boots, LJ; Tung, JS; Arnold, BA; Keller, PM; Shaw, AR; Emini, EA. Neutralization of divergent human immunodeficiency virus type 1 variants and primary isolates by IAM-4I-2F5, an anti-gp41 human monoclonal antibody. *Proc. Natl. Acad. Sci. U. S. A*, 1994, 91, 3348-3352.

[24] D'Souza, MP; Livnat, D; Bradac, JA; Bridges, SH. Evaluation of monoclonal antibodies to human immunodeficiency virus type 1 primary isolates by neutralization assays: performance criteria for selecting candidate antibodies for clinical trials. *AIDS Clinical Trials*

Group Antibody Selection Working Group . *J. Infeci.Dis.*, 1997, 175, 1056-1062.

[25] Armbruster, C; Stiegler, GM; Vcelar, BA; Jager, W; Michael, NL; Vetter, N; Katinger, HW. A phase I trial with two human monoclonal antibodies (hMAb 2F5, 2G 12) against HIV-1. *AIDS*, 2002, 16, 227-233.

[26] Lamb, RA. Genes and Proteins of the Influenza Viruses. In: Krug, RM., Editor. *The Influenza Viruses*. New York: Plenum Press; 1989; 1-87.

[27] Ward, CW. Structure of the influenza virus hemagglutinin. *Curr. Top. Microbiol. Immunol.*, 1981, 94-95,1-74.

[28] Palese, P; Tobita, K; Ueda, M; Compans, RW. Characterization of temperature sensitive influenza virus mutants defective in neuraminidase. *Virology*, 1974, 61, 397-410.

[29] Sundberg, L; Porath, J. Preparation of adsorbents for biospecific affinity chromatography. Attachment of group-containing ligands to insoluble polymers by means of bifunctional oxiranes. *J. Chromatogr.*, 1974, 90,87-98.

[30] Platis, D; Labrou, NE. Affinity chromatography for the purification of therapeutic proteins from transgenic maize using immobilized histamine. *J Sep.Sci.*, 2008, 31, 636-645.

[31] Bradford, MM. A rapid and sensitive method for the quantitation of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding. *Anal.Biochem.*, 1976, 72, 248-254.

[32] Platis, D; Labrou, NE. Development of an aqueous two-phase partitioning system for fractionating therapeutic proteins from tobacco extract. *J. Chromatogr. A*, 2006, 1128, 114-124.

[33] Laemmli, UK. Cleavage of structural proteins during the assembly of the head of bacteriophage T4. *Nature*, 1970, 227,680-685.

[34] Liang, J; Edelsbrunner, H; Woodward, C. Anatomy of protein pockets and cavities: measurement of binding site geometry and implications for ligand design. *Protein Sci.*, 1998, 7, 1884-1897.

[35] Perlman, D; Halvorson, HO. A putative signal peptidase recognition site and sequence in eukaryotic and prokaryotic signal peptides. *J Mol. Biol.*, 1983, 167, 391-409.

[36] Guex, N; Peitsch, MC. SWISS-MODEL and the Swiss-PdbViewer: an environment for comparative protein modeling. *Electrophoresis*, 1997, 18, 2714-2723.

[37] Li, R; Dowd, V; Stewart, DJ; Burton, SJ; Lowe, CR. Design, synthesis, and application of a protein A mimetic. *Nat.Biotechnol.*, 1998, 16, 190-195.

[38] Dalakouras, T; Smith, BJ; Platis, D; Cox, MM; Labrou, NE. Development of recombinant protein-based influenza vaccine. Expression and affinity purification of H1N1 influenza virus neuraminidase. *J Chromatogr. A*, 2006, 1136, 48-56.

[39] Livingston, AG; Chase, HA. Preparation and characterization of adsorbents for use in high-performance liquid affinity chromatography. *Journal of Chromatography A*, 1989, 481,159-174.

[40] Langmuir, I. The adsorption of gases on plane surfaces of glass, mica and platinum. *J. Am. Chem. Soc.*, 1918, 40, 1361-1403.

[41] Langmuir, I. Vapor pressures, evaporation, condensation and adsorption. *J.Am.Chem.Soc.*, 1932, 54, 2798-2832.

[42] Karlsson, D; Jakobsson, N; Axelsson, A; Nilsson, B. Model-based optimization of a preparative ion-exchange step for antibody purification. *J Chromatogr. A*, 2004, 1055, 29-39.

[43] Brett, IC; Johansson, BE. Immunization against influenza A virus: comparison of conventional inactivated, live-attenuated and recombinant baculovirus produced purified hemagglutinin and neuraminidase vaccines in a murine model system. *Virology*, 2005, 339, 273-280.

[44] Ma, JK; Hikmat, BY; Wycoff, K; Vine, ND; Chargelegue, D; Yu, L; Hein, MB; Lehner,T. Characterization of a recombinant plant monoclonal secretory antibody and preventive immunotherapy in

humans. *Nat.Med.*, 1998, 4, 601-606.

[45] Zeitlin, L; Olmsted, SS; Moench, TR; Co, MS; Martinell, BJ; Paradkar, VM; Russell, DR; Queen, C; Cone, RA; Whaley, KJ. A humanized monoclonal antibody produced in transgenic plants for immunoprotection of the vagina against genital herpes. *Nat.Biotechnol.*, 1998, 16, 1361-1364.

[46] McCormick, AA; Kumagai, MH; Hanley, K; Turpen, TH; Hakim, I; Grill, LK; Tuse, D; Levy, S; Levy, R. Rapid production of specific vaccines for lymphoma by expression of the tumor-derived single-chain Fv epitopes in tobacco plants. *Proc. Natl. Acad. Sci. U. S. A.*, 1999, 96, 703-708.

[47] Khoudi, H; Laberge, S; Ferullo, JM; Bazin, R; Darveau, A; Castonguay, Y; Allard, G; Lemieux, R; Vezina, LP. Production of a diagnostic monoclonal antibody in perennial alfalfa plants. *Biotechnol. Bioeng.*, 1999, 64, 135-143.

[48] Rademacher, T; Sack, M; Arcalis, E; Stadlmann, J; Balzer, S; Altmann, F; Quendler, H; Stiegler, G; Kunert, R; Fischer, R; Stoger, E. Recombinant antibody 2G12 produced in maize endosperm efficiently neutralizes HIV-I and contains predominantly singleGlcNAc N-glycans. *Plant Biotechnol. J.*, 2008, 6, 189-201.

[49] Ramessar, K; Rademacher, T; Sack, M; Stadlmann, J; Platis, D; Stiegler, G; Labrou, N; Altmann, F; Ma, J; Stoger, E; Capell, T; Christou, P. Cost-effective production of a vaginal protein microbicide to prevent HIV transmission. *Proc. Natl. Acad. Sci. U. S. A.*, 2008, 105, 3727-3732.

[50] Hiatt, A; Cafferkey, R; Bowdish, K. Production of antibodies in transgenic plants. *Nature*, 1989, 342, 76-78.

[51] Valdes, R; Reyes, B; Alvarez, T; Garcia, J; Montero, JA; Figueroa, A; Gomez, L; Padilla, S; Geadá, D; Abrahantes, MC; Dorta, L; Fernandez, D; Mendoza, O; Ramirez, N; Rodriguez, M; Pujol, M; Borroto, C; Brito, J. Hepatitis B surface antigen immunopurification using a plant-derived specific antibody produced in large scale. *Biochem.*

Biophys. Res. Commun., 2003, 310, 742-747.

[52] De Neve, M; De Loose, M; Jacobs, A; Van Houdt, H; Kaluza, B; Weidle, U; Van Montagu, M; Depicker, A. Assembly of an antibody and its derived antibody fragment in *Nicotiana* and *Arabidopsis*. *Transgenic Res.*, 1993, 2, 227-237.

[53] Ma, JK; Hiatt, A; Hein, M; Vine, ND; Wang, F; Stabila, P; Van Dolleweerd, C; Mostov, K; Lehner, T. Generation and assembly of secretory antibodies in plants. *Science*, 1995, 268, 716-719.

[54] During, K; Hippe, S; Kreuzaler, Sehell, J. Synthesis and self-assembly of a functional monoclonal antibody in transgenic *Nicotiana tabacum*. *Plant Mol. Biol.*, 1990, 15, 281-293.

[55] Carrillo, C; Wigdorovitz, A; Oliveros, JC; Zamorano, PI; Sadir, AM; Gomez, N; Salinas, J; Escribano, JM; Borca, MY. Protective immune response to foot-and-mouth disease virus with VPI expressed in transgenic plants. *J Virol.*, 1998, 72, 1688-1690.

[56] Yu, J; Langridge, W. Expression of rotavirus capsid protein VP6 in transgenic potato and its oral immunogenicity in mice. *Transgenic Res.*, 2003, 12, 163-169.

[57] Delaney, D; Jilka, J; Barker, D; Irwin, P; Poage, M; Woodard, S; Horn, M; Vinas, A; Beifuss, K; Barker, M; Wiggins, B; Drees, C; Harkey, R; Nikolov, Z; Hood, E; Howard, J. Production of aprotinin in transgenic maize seeds for the pharmaceutical and cell culture markets. In: Vasil, I.K., Editor. *Plant Biotechnology 2002 and Beyond: Proceedings of the 10th IAPTC&B Congress, Orlando, Florida, USA*: Kluwer Academic Publishers; 2003; 393-394.

[58] Woodard, SL; Mayor, JM; Bailey, MR; Barker, DK; Love, RT; Lane, JR; Delaney, DE; McComas-Wagner, JM; Mallubhotla, HD; Hood, EE; Dangott, LJ; Tichy, SE; Howard, JA. Maize (*Zea mays*)-derived bovine trypsin: characterization of the first large-scale, commercial protein product from transgenic plants. *Biotechnol. Appl. Biochem.*, 2003, 38, 123-130.

[59] Kusnadi, AR; Hood, EE; Witcher, DR; Howard, JA; Nikolov,

ZL. Production and purification of two recombinant proteins from transgenic com. *Biotechnol.Prog.*, 1998, 14, 149-155.

[60] Lee, RW; Cornelisse, M; Ziauddin, A; Slack, PJ; Hodgins, DC; Strommer, JN; Shewen, PE; Lo, RY. Expression of a modified *Mannheimia haemolytica* GS60 outer membrane lipoprotein in transgenic alfalfa for the development of an edible vaccine against bovine pneumonic pasteurellosis. *J Biotechnol.*, 2008, 135, 224-231.

[61] Floss, DM; Sack, M; Stadlmann, J; Rademacher, T; Scheller, J; Stoger, E; Fischer, R; Conrad, U. Biochemical and functional characterization of anti-HIV antibody-ELP fusion proteins from transgenic plants. *Plant Biotechnol. J*, 2008, 6, 379-391.

[62] Ding, SH; Huang, LY; Wang, YD; Sun, HC; Xiang, ZH. High-level expression of basic fibroblast growth factor in transgenic soybean seeds and characterization of its biological activity. *Biotechnol. Lett.*, 2006, 28, 869-875.

[63] Labrou, N; Clonis, YD. The affinity technology in downstream processing. *J Biotechnol.*, 1994, 36, 95-119.

[64] Lowe, CR; Burton, SJ; Pearson, JC; Clonis, YD; Stead, V. Design and application of bio-mimetic dyes in biotechnology. *J Chromatogr.*, 1986, 376, 121-130.

[65] Melissis, S; Labrou, NE; Clonis, YD. Nucleotide-mimetic synthetic ligands for DNA recognizing enzymes One-step purification of Pfu DNA polymerase. *J Chromatogr. A*, 2006, 1122, 63-75.

[66] Filippusson, H; Erlendsson, LS; Lowe, CR. Design, synthesis and evaluation of biomimetic affinity ligands fore elastases. *J Mol. Recognit.*, 2000, 13, 370-381.

[67] Morrill, PR; Gupta, G; Sproule, K; Winzor, D; Christensen, J; Mollerup, I; Lowe, CR. Rational combinatorial chemistry-based selection, synthesis and evaluation of an affinity adsorbent for recombinant human clotting factor VII. *J Chromatogr. B Analyt. Technol. Biomed. Life Sci.*, 2002, 774, 1-15.

[68] Zanette, D; Soffientini, A; Sottani, C; Sarubbi, E. Evaluation of phenylboronate agarose for industrial-scale purification of erythropoietin from mammalian cell cultures. *J Biotechnol.*, 2003, 101, 275-287.

[69] Swaminathan, S; Khanna, N. Affinity purification of recombinant interferon-alpha on a mimetic ligand adsorbent. *Protein Expr. Purif.*, 1999, 15, 236-242.

[70] Luo, Q; Zou, H; Zhang, Q; Xiao, X; Ni, J. High-performance affinity chromatography with immobilization of protein A and L-histidine on molded monolith. *Biotechnol. Bioeng.*, 2002, 80, 481-489.

[71] Pitiot, O; Folley, L; Vijayalakshmi, MA. Protein adsorption on histidyl-aminoethyl Sepharose 4B. 1. Study of the mechanistic aspects of adsorption for the separation of human serum albumin from its non-enzymatic glycosylated isoforms (advanced glycosylated end products). *J. Chromatogr. B Biomed. Sci. Appl.*, 2001, 758, 163-172.

[72] Wu, X; Haupt, K; Vijayalakshmi, MA. Separation of immunoglobulin G by high performance pseudo-bioaffinity chromatography with immobilized histidine. I. Preliminary report on the influence of the silica support and the coupling mode. *J. Chromatogr.*, 1992, 584, 35-41.

[73] Clonis, YD; Labrou, NE; Kotsira, VP; Mazitsos, C; Melissis, S; Gogolas, G. Biomimetic dyes as affinity chromatography tools in enzyme purification. *J Chromatogr. A*, 2000, 891, 33-44.

[74] Labrou, NE; Clonis, YD. Oxaloacetate decarboxylase: on the mode of interaction with substrate-mimetic affinity ligands. *Arch. Biochem. Biophys.*, 1995, 321, 61-70.

[75] Labrou, NE; Eliopoulos, E; Clonis, YD. Molecular modeling for the design of a biomimetic chimeric ligand. Application to the purification of bovine heart L-lactate dehydrogenase. *Biotechnol. Bioeng.*, 1999, 63, 322-332.

[76] Clonis, YD. Novel cationic triazine dyes for protein purification. *Biotechnol. Bioeng.*, 1987, 30, 621-627.

[77] Mazitsos, CF; Rigden, DJ; Clonis, YD. Designed chimaeric galactosyl-mimodye ligands for the purification of *Pseudomonas fluorescens* beta-galactose dehydrogenase. *J Chromatogr. A*, 2004, 1029, 103-112.

[78] Teng, SF; Sproule, K; Hussain, A; Lowe, CR. A strategy for the generation of biomimetic ligands for affinity chromatography. Combinatorial synthesis and biological evaluation of an IgG binding ligand. *J Mol. Recognit.*, 1999, 12, 67-75.

[79] Roque, AC; Taipa, MA; Lowe, CR. Synthesis and screening of a rationally designed combinatorial library of affinity ligands mimicking protein L from *Peptostreptococcus magnus*. *J Mol. Recognit.*, 2005, 18, 213-224.

[80] Roque, AC; Taipa, MA; Lowe, CR. An artificial protein L for the purification of immunoglobulins and fab fragments by affinity chromatography. *J Chromatogr. A*, 2005, 1064, 157-167.

[81] Newcombe, AR; Cresswell, C; Davies, S; Watson, K; Harris, G; O'Donovan, K; Francis, R. Optimised affinity purification of polyclonal antibodies from hyper immunised ovine serum using a synthetic Protein A adsorbent, MAbsorbent® A2P. *Journal of Chromatography B*, 2005, 814, 209-215.

الفصل الرابع عشر

تجارة الموز العالمية : رؤية بعيدة المدى

Hong Xu and WenJun Zhang^()*

School of Life Sciences, Sun Yat-sen (Zhongshan) University

Guangzhou 510275, China

ملخص

تهدف هذه الدراسة إلى تقديم رؤية بعيد المدى لتجارة الموز العالمية بغية توفير معلومات أساسية لاتخاذ القرارات بشأنها. لقد وُجد أن استيراد الموز وتصديره وتجارته في بعض المناطق والبلدان هي توابع خطية عموماً للزمن، واستُعمل هذا النموذج الخطي بحيث يتوافق مع البيانات التاريخية لتلك التجارة، وأُعطيت استشرافات تفصيلية لها في تلك المناطق للأعوام 2008-2023. وجرى توقع نسب التصدير المتغيرة مع الزمن لبعض المناطق والبلدان أيضاً. وبيّنت النتائج أنه إذا استمرت الأنماط السابقة، فإن استيراد الموز عالمياً سوف يتبع توجّهاً متزايداً بوتيرة تساوي 269706 طن سنوياً. وسوف يصل إلى $10^7 \times 1.9416$ طن بحلول عام 2023. ويُبدي تصدير الموز تزايداً بوتيرة تساوي 277637 طن سنوياً، وسوف تصل بحلول عام 2023 إلى $10^7 \times 1.9960$ طن. ويُتوقع أن يزداد حجم تجارة الموز العالمية بمعدل 547343 طن سنوياً، وأن تصل إلى $10^7 \times 3.9276$ بحلول عام 2023. ويُتوقع أن تنمو

(*) المؤلف المراسل : E-mail: zhwj@mail.sysu.edu.cn

نسبة تصدير الموز عالمياً وتصل إلى 22.76% بحلول عام 2023. ومن ناحية أخرى، قورنت تجارة الموز في ما بين الدول والمناطق المختلفة، ونوقش الوضع الراهن لتجارة الموز في الصين.

1- تقديم

الموز فاكهة تتضمّن القليل من الماء وهي كثيرة الحريات، وتحتوي على بروتينات غنية ودهون ونشاء وبكتين وكربوهيدرات وفيتامينات وأملاح معدنية متنوّعة. ويُعتبر الموز على نطاق واسع فاكهةً صحيةً عالية الجودة. ويفيد أكل الموز في تخفيف الاكتئاب، وتقليل أعراض توتر ما قبل الحيض، وتحسين التعافي من فقر الدم، وضبط ضغط الدم، وتوفير طاقة للدماغ، ومعالجة الإمساك والشحوب، ودرء لسع البعوض، وحماية الجهاز العصبي (Jin, 2006).

والموز هو أهم فواكه العالم الطازجة الاستوائية. فعدد الدول التي تزرع الموز في العالم وصل إلى 120 دولة، منها دول أميركا الوسطى والجنوبية والآسيوية التي تُعدّ المناطق المنتجة الرئيسية. والموز هو الفاكهة التي تباع على نطاق عالمي، وتستحوذ على جزء كبير من الطلب في السوق، وتحتل المرتبة الثانية أو الثالثة في تجارة الفواكه الطازجة العالمية. وغدت تجارة الموز التجارة الزراعية المفتاحية في مناطق الصين الجنوبية وشبه الاستوائية، وهي تؤدي دوراً هاماً في التنمية الاقتصادية والاجتماعية في تلك المناطق (Wang and Xu, 2006).

ويُنتج الموز في البلدان النامية بصورة رئيسية، ويُصدّر إلى أميركا الشمالية وأوروبا الغربية واليابان والبلدان المتقدمة الأخرى. وثمة بعض تجارة الموز بين الدول النامية أيضاً، إلا أنها تمثل نسبة صغيرة من تجارة الموز الكلية. ويُصدّر الموز بشكله الطازج عموماً، ونادراً ما تكون ثمة منتجات معالجة منه. ويوضع نحو 15%-20% من الإنتاج السنوي العالمي في سوق التجارة العالمية (Me, 2006). وتأثرت سوق الموز العالمية دائماً بكثير من [العوامل] غير الأكيدة، منها سياسات استيراد الموز التي وضعها الاتحاد الأوروبي في تسعينات القرن الماضي، وتعديلات تلك السياسات في السنوات اللاحقة، والأزمة المالية الآسيوية، والانخفاض الحاد في إنتاج الموز في منطقة الإنتاج الرئيسية، أي منطقة أميركا اللاتينية التي تأثرت بإعصار عام 2001... إلخ. لكن حجم تجارة الموز الكلي يُبدي توجّهاً متزايداً مع تزايد مناطق زراعته، ونمو إنتاجه، وتحسّن المستويات التكنولوجية لإنتاجه.

واتصف تصدير الموز بأنماط شديدة المركزية مدة طويلة. فالتصدير من أميركا اللاتينية ومنطقة الكاريبي والبلدان النامية في آسيا وأفريقيا يمثل معظم التصدير العالمي الكلي. ففي عام 2004، مثل التصدير من تلك الدول 86.27% من حجم التصدير العالمي الكلي (Wang and Xu, 2006). وأظهر تصدير الموز على مستوى العالم توجُّهاً متزايداً كان أسرع نمو فيه في آسيا. ومنذ خمسينات القرن الماضي، احتلت الإكوادور الموقع الأول بين الدول المصدرة للموز في العالم مدة طويلة. ومثل تصدير الموز من ذلك البلد 16% من التصدير العالمي الكلي. ويأتي تصدير الموز من الإكوادور في المرتبة الثانية بعد تصدير النفط (Yuan, 2006).

أما سوق الاستيراد الرئيسية للموز فتشتمل على الولايات المتحدة والاتحاد الأوروبي واليابان. ففي عام 2004، مثل حجم الاستيراد في تلك الدول والمناطق 66.5% من الاستيراد العالمي الكلي، في حين أن حجم الاستيراد في الدول المتقدمة مثل 80% من حجم استيراد الموز في العالم (Wang and Xu, 2006). وحصلت المركزية الشديدة في استيراد الموز بسبب تكاليف النقل ومدة نضج الموز وسياسات الدول المستوردة... إلخ. وفي السنوات الأخيرة، ومع تزايد استيراد الموز في روسيا والصين وأوروبا الشرقية، بدأت سوق استيراد الموز بالتطور نحو تنوع المصادر.

والصين ليست دولة رئيسية في إنتاج الموز فحسب، بل هي دولة مستوردة رئيسية أيضاً. فبسبب الطلب المحلي الهائل، لا يمكن لإنتاج الصين من الموز أن يلبي سوى 94% من الاستهلاك المحلي، ويجب استيراد الـ 6% المتبقية من بلدان أخرى. أما حجم تصديرها للموز فهو أقل كثيراً (Xu, 2006).

ومع النمو والتكامل الاقتصاديين في العالم، تستمر العوائق التجارية بالانحياز عالمياً. وفي نفس الوقت، تستغل شركات مختلفة عابرة للحدود ومتعددة الجنسيات الأسواق الجديدة، ويتوقع أن يشهد حجم تجارة الموز نمواً مطّرداً. وفي الوقت الحالي، تسيطر على تجارة الموز في العالم بعض الشركات الأميركية العابرة للحدود، منها تشيكيتا (Chiquita) وديل مونت (Del Monte) ودول (Dole). فقد استحوذت تلك الشركات على 70% من سوق الموز العالمية. وازداد استهلاك الفرد للموز في العالم تدريجياً. ففي عام 2005، ازداد استهلاك الموز بـ 17.57% مقارنة بالاستهلاك قبل 10 سنوات (Li, 2008). ويعني ازدياد حجم الاستهلاك أن سوق تجارة الموز سوف تستمر بالتوسع.

ويعتمد تطور إنتاج الموز على تطوير مراقبة جودة المنتج، وعلى ظهور أنواع جديدة من الأسواق، إضافة إلى تطوير الموز العضوي، وتطوير التصنيع والمكننة بغية تسهيل تصديره (Xu, 2006).

وبعد دخول الصين منظمة التجارة العالمية، تواجه تجارة الموز في الصين الكثير من الفرص والتحديات. فقد أدت التعرفة الجمركية المخفّضة إلى فرص متكافئة في كل من الاستيراد والتصدير. إلا أنه نظراً إلى أن مقدرة الصين على التصدير والتنظيم الحالية ما زالت ضعيفة، يُتوقع أن يكون استيراد الموز هو المهيمن في المستقبل (Deng, 2002). من ناحية أخرى، ونظراً لانخفاض تكاليف الإنتاج وسهولة النقل وجودة المنتج العالية، ينطوي الموز الصيني على ميزة هائلة في السوق العالمية. فسعره منخفض، ولذا يستطيع منافسة الموز الأجنبي بقوة. يُضاف إلى ذلك، أن أنواع الموز الصيني تشابه الموز الأجنبي من حيث الجودة العالية، حتى إنها أفضل من معظم الموز الأجنبي (Zhu, 2004). وكل هذا يشير إلى أن الموز الصيني ينطوي على احتمال هائل في سوق الموز العالمية.

إلا أنه ما زال ثمة نقص حتى الآن في التنبؤ والدراسة التفصيلية لتجارة الموز العالمية (Huang, 2005). إن دراسة سوق الموز العالمية، أو التنبؤ بها، على درجة عالية من الأهمية من أجل ضبط إنتاج الموز وتطويره على أساس سليم. وبمعنى ما، فإن جمع البيانات ومعالجتها على شكل مؤشرات اجتماعية واقتصادية قابلة للمعانة سوف تكون مفيدة لصياغة السياسات الحكومية وللإستعمالات الملائمة من قبل العامة والباحثين (Zhang et al., 2008).

في ضوء ما تقدم، تهدف الدراسة الحالية إلى تكوين رؤية بعيدة المدى لتجارة الموز العالمية. وقد استعملت في هذه الدراسة بيانات تاريخية لبناء نموذج استشراف لتجارة الموز في بعض مناطق ودول العالم، ووضع تقديرات لتوجّهاتها. يُضاف إلى ذلك أن الدراسة تتضمن مقارنات بين الدول والمناطق المنتجة للموز، ومناقشة حالة تجارة الموز في الصين وأساليبها، وذلك من أجل توفير معلومات أساسية لاتخاذ القرار بشأن تجارة الموز في الصين وتطويرها.

2- المواد والطرائق

1.2 مصادر البيانات

أُخذت بيانات الحجم السنوية لاستيراد وتصدير الموز عالمياً، منذ عام 1961، من منظمة الغذاء والزراعة [في الأمم المتحدة] (فاو) (Food and Agriculture)

(FAO Organization) (FAOSTAT, 2006). ومن المناطق والبلدان التي اشتملت عليها هذه الدراسة: العالم والصين وآسيا وشمال أميركا والولايات المتحدة والهند وأندونيسيا والدول النامية والدول المتقدمة وكوستاريكا وجزر المحيط الهادي والبرازيل وأميركا اللاتينية ودول الكاريبي وأوروبا وتايلاند وأستراليا والولايات المتحدة والفلبين والسلفادور وفيتنام وأفريقيا. ويمكن العثور على تعاريف الدول النامية والدول المتقدمة في وثائق الفاو قبل عام 2006.

2.2 نموذج الاستشراف

أولاً، استعملنا متعدد حدودٍ عاماً نموذجاً للاستشراف:

$$x(t) = a_n t^n + \dots + a_3 t^3 + a_2 t^2 + a_1 t^1 + b$$

حيث t هو الزمن، و $x(t)$ هو مؤشرات التجارة. لقد وجدنا أن تابعاً متعدد الحدود من الدرجة الأولى ($n = 1$) قد أعطى أفضل جودة للمحاكاة المتغيرة لتجارة الموز. لذا استُعمل النموذج الخطي الآتي; (SPSS for Windows 11.0.0,2001; Matlab 6.5, 2002) لمحاكاة متغيرات حجم تجارة الموز:

$$x(t) = rt + b$$

حيث t هي السنة، و $x(t)$ حجم تجارة الموز (طن) في السنة t ، و r هو الوتيرة السنوية لحجم تجارة الموز (طن/ السنة). واختُبر المغزى الإحصائي لهذا النموذج باستعمال معامل التحديد المضبوط R^2 (Adjusted Determinant Coefficient) وإحصائيات الاختبار F . واشتملت فترة الاستشراف على الأعوام من 2008 حتى 2023.

والاستشرافات هي استيفاء (استكمال) لتقديرات تاريخية قائمة على نماذج استشرافية. وقد افترضنا في استشرافاتنا أن الظروف الزراعية والاجتماعية الاقتصادية السابقة وغيرها سوف تستمر ضمن فترة الاستشراف. طبعاً، يمكن وضع نماذج أخرى لتوفير استشرافات متممة.

3.2 مؤشرات ذات صلة

حجم التجارة الكلي: عرّف مجموع حجمي الاستيراد والتصدير بأنه حجم التجارة الكلي. إن استشراف حجم التجارة الكلي يعكس على نحو شامل توجّهات المناطق والبلدان المختلفة.

نسبة التصدير: عُرِّفَت نسبة حجم التصدير إلى الإنتاج الكلي بأنها نسبة التصدير. وأخذ الإنتاج الكلي للمناطق والبلدان المختلفة من (Zhang et al., 2008). يعكس هذا المؤشر حجم التصدير، فكلما كان هذا الحجم أكبر والإنتاج الكلي أقل، كانت نسبة التصدير أكبر.

3- النتائج

تتضمن الجداول من 1 حتى 3 استشرافات تجارة الموز العالمية، ومن تلك الجداول يتضح أن النماذج الخطية ذات مغزى إحصائي عموماً. إن استعمال النماذج الخطية للقيام بالاستشرافات ممكن عملياً، وموسطات النموذج معقولة أيضاً. وبغية مقارنة نسب التصدير من المناطق والبلدان المختلفة، ومن أجل فهم التغيرات المستمرة في تلك النسب، قدّمنا استشرافات على مستوى العالم أيضاً (الجدول 4).

1.3 توجُّهات حجم الاستيراد

إذا استمرت الأنماط السابقة على حالها، فإنه يمكن تقدير حجوم استيراد الموز في العالم والصين وآسيا وأميركا الشمالية والوسطى والدول النامية والدول المتقدمة وجزر المحيط الهادي وأميركا اللاتينية ومنطقة الكاريبي وأوروبا والولايات المتحدة والسلفادور باستعمال النموذج الخطي، في حين أن تقديرات حجوم الاستيراد المهمة في أندونيسيا وتايلاند وكوستاريكا وأفريقيا وفيتنام والهند والفلبين والبرازيل وأستراليا ونيكاراغوا لم تتطابق مع النموذج الخطي، ولذا لم تُستعمل لإجراء الاستشرافات.

إن حجم استيراد الموز في الدول والمناطق التي تتوافق تقديراتها المذكورة آنفاً مع النموذج الخطي سوف يزداد في الخمس عشرة السنة القادمة. فالاستيراد على مستوى العالم يُتَوَقَّع أن يزداد بوتيرة تساوي 269706 طن سنوياً. ومن بين جميع المناطق، سوف يشهد الاستيراد في أوروبا أكبر وتيرة نمو (125839 طن/ السنة)، تتبعها في ذلك أميركا الشمالية والوسطى (84637 طن/ السنة)، وآسيا (47885 طن/ السنة)، وأميركا اللاتينية ومنطقة الكاريبي (10236 طن/ السنة). ويمكن أن تكون وتيرة النمو في جزر المحيط الهادي هي الأصغر (1339 طن/ السنة). أما الوتيرة السنوية للاستيراد في الدول المتقدمة، التي تساوي 221988 طن/ السنة، فهي أكبر كثيراً من

47919 طن/ السنة للدول النامية. وعلى مستوى الدول، يمكن أن تحقّق الولايات المتحدة أعلى نمو في استيراد الموز (75157 طن/ السنة)، تليها الصين (10718 طن/ السنة). ويمكن أن تشهد السلفادور وتيرة نمو سنوية تساوي 1920 طن/ السنة.

الجدول 1: استشرافات حجوم استيراد الموز (طن). r : الوتيرة السنوية لحجم استيراد الموز (طن في السنة)؛ Δr : نصف عرض مجال الثقة 95% لـ $x(t)$ ؛ قيمة الاستشراف بحجم استيراد الموز؛ $\Delta x(t)$: نصف عرض مجال الثقة 95% لـ $x(t)$ ؛ R^2 : معامل التحديد المضبوط. المغزى الإحصائي: * $p < 0.05$; ** $p < 0.01$.

2023	2020	2017	2014	2011	2008	10^7 طن	R^2	Δr (طن/ السنة)	r (طن/ السنة)	
1.9416	1.8607	1.7798	1.6989	1.6179	1.5370	$x(t)$	0.885**	29942.32	269706.34	العالم
0.0543	0.0511	0.0479	0.0447	0.0414	0.0382	$x(t)$	0.519**	3139.53	10718.27	الصين
0.3231	0.3087	0.2944	0.2800	0.2656	0.2513	$x(t)$	0.837**	6478.35	47884.82	آسيا
0.6521	0.6267	0.6014	0.5760	0.5506	0.5252	$x(t)$	0.975**	4156.52	84637.34	أميركا الشمالية والوسطى
0.2915	0.2771	0.2628	0.2485	0.2342	0.2199	$x(t)$	0.754**	8366.97	47718.505	الدول النامية
1.6481	1.5815	1.5149	1.4483	1.3818	1.3152	$x(t)$	0.898**	22949.22	221987.83	الدول المتقدمة
0.0100	0.0097	0.0093	0.0089	0.0085	0.0081	$x(t)$	0.741**	242.99	1339.219	جزر المحيط الهادي
0.0788	0.0758	0.0727	0.0696	0.0666	0.0635	$x(t)$	0.583**	2640.43	10231.56	أميركا اللاتينية والكاريبية
0.8673	0.8295	0.7918	0.7540	0.7163	0.6785	$x(t)$	0.780**	20479.34	125839.20	أوروبا
0.5843	0.5618	0.5392	0.5167	0.4941	0.4716	$x(t)$	0.970**	4079.84	75157.32	الولايات المتحدة
0.0127	0.0121	0.0116	0.0110	0.0104	0.0098	$x(t)$	0.713**	373.09	1920.05	السلفادور

الجدول 2: استشرافات حجوم تصدير الموز (طن). r : الوتيرة السنوية لحجم استيراد الموز (طن في السنة)؛ Δr : نصف عرض مجال الثقة 95% لـ r ؛ $x(t)$: قيمة الاستشراف بحجم تصدير الموز؛ $\Delta x(t)$: نصف عرض مجال الثقة 95% لـ $x(t)$ ؛ R^2 : معامل التحديد المضبوط. المغزى الإحصائي: $p < 0.05^*$; $p < 0.01^{**}$.

2023	2020	2017	2014	2011	2008	10^7 طن	R^2	Δr (طن/ السنة)	r (طن/ السنة)	
1.9960	1.9127	1.8295	1.7462	1.6629	1.5796	$x(t)$	0.871**	32896.11	277637.33	العالم
-0.0019	-0.0010	0.0000	0.0009	0.0018	0.0027	$x(t)$	0.707**	729.51	-3058.18	الصين
0.2578	0.2462	0.2347	0.2231	0.2116	0.2000	$x(t)$	0.860**	4775.10	38491.12	آسيا
0.6750	0.6530	0.6311	0.6091	0.5871	0.5651	$x(t)$	0.852**	9395.12	73282.37	أميركا الشمالية والوسطى
1.7163	16485	1.5807	1.5129	1.4451	1.3773	$x(t)$	0.903**	22814.88	226032.38	الدول النامية
0.2796	0.2642	0.2487	0.2332	0.2177	0.2022	$x(t)$	0.662**	11270.17	51604.74	الدول المقدمة
0.3030	0.2896	0.2762	0.2627	0.2493	0.2359	$x(t)$	0.863**	5478.25	44735.60	كوستاريكا
1.4224	1.3660	1.3096	1.2532	1.1968	1.1404	$x(t)$	0.896**	19679.04	187950.35	أميركا اللاتينية والكاريبى
0.2210	0.2082	0.1955	0.1827	0.1700	0.1573	$x(t)$	0.594**	10709.55	42451.59	أوروبا
0.0618	0.0590	0.0561	0.0533	0.0504	0.0476	$x(t)$	0.867**	1143.90	9494.88	الولايات المتحدة
0.2365	0.2249	0.2132	0.2016	0.1900	0.1784	$x(t)$	0.792**	4649.37	38756.76	الفلبين
0.0982	0.0915	0.0848	0.0781	0.0713	0.0646	$x(t)$	0.948**	2690.99	22393.58	أفريقيا

الجدول 3: استشرافات حجم تجارة الموز الكلية (طن). r : الوتيرة السنوية لحجم تجارة الموز الكلية (طن في السنة)؛ Δr : نصف عرض مجال الثقة 95% لـ $x(t)$ ؛ قيمة الاستشراف بحجم تجارة الموز الكلية؛ $\Delta x(t)$: نصف عرض مجال الثقة 95% لـ $x(t)$ ؛ R^2 : معامل التحديد المضبوط. المغزى الإحصائي: $p < 0.05^*$; $p < 0.01^{**}$:

2023	2020	2017	2014	2011	2008	10 ⁷ طن	R ²	Δr (طن/السنة)	r (طن/ السنة)	
3.9276	3.7634	3.5991	3.4349	3.2708	3.1066	$x(t)$	0.878**	62630.83	547343.46	العالم
0.0869	0.0811	0.0754	0.0696	0.0639	0.0581	$x(t)$	0.570**	6631.33	19159.07	الصين
0.5839	0.5580	0.5320	0.5061	0.4802	0.4543	$x(t)$	0.880**	9813.48	86375.96	آسيا
1.3271	1.2798	1.2324	1.1850	1.1377	1.0903	$x(t)$	0.956**	10429.03	157919.71	أميركا الشمالية والوسطى
0.008	0.0080	0.0078	0.0076	0.0073	0.0072	$x(t)$	0.265**	322.63	649.56	جزر المحيط الهادي
1.9278	1.8457	1.7636	1.6815	1.5995	1.5174	$x(t)$	0.865**	33231.02	173592.58	الدول المتقدمة
2.0098	1.9277	1.8455	1.7634	1.6813	1.5991	$x(t)$	0.887**	30078.84	273750.87	الدول النامية
0.3026	0.2891	0.2757	0.2623	0.2488	0.2354	$x(t)$	0.863**	5479.12	44753.13	كوستاريكا
1.5022	1.4427	1.3833	1.3238	1.2644	1.2049	$x(t)$	0.890**	21388.09	198181.91	أميركا اللاتينية والكاريبى
1.0952	1.0047	0.9943	0.9438	0.8933	0.8428	$x(t)$	0.745**	30218.09	168290.79	أوروبا
0.6451	0.6197	0.5943	0.5690	0.5436	0.5182	$x(t)$	0.970**	4596.03	84652.20	الولايات المتحدة
0.2422	0.2300	0.2178	0.2057	0.1935	0.1814	$x(t)$	0.878**	4649.37	40514.86	الفلبين
0.0127	0.0121	0.0115	0.0109	0.0103	0.0098	$x(t)$	0.713**	372.33	1916.76	السلفادور

الجدول 4: نسب التصدير من تجارة الموز في العالم^(*) (%).

2023	2020	2017	2014	2011	2008	
22.76	22.68	22.60	22.51	22.41	22.29	العالم
-0.27	-0.15	0.00	0.15	0.33	0.53	الصين
5.52	5.52	5.53	5.54	5.55	5.56	آسيا
62.02	61.63	61.21	60.77	60.30	59.80	أميركا الشمالية والوسطى
19.87	19.85	19.82	19.80	19.78	19.75	الدول النامية
216.41	210.35	203.69	196.79	189.30	181.51	الدول المتقدمة
96.47	96.18	95.90	95.53	95.19	94.78	كوستاريكا
47.86	47.32	46.76	46.16	45.52	44.84	أميركا اللاتينية والكاريبى
484.65	456.58	430.61	404.20	377.78	350.33	أوروبا
5150.00	5363.63	5100.0	5330.0	5040.00	5288.89	الولايات المتحدة
33.85	33.64	33.40	33.14	32.85	32.54	الفلبين
10.49	10.11	9.71	9.28	8.80	8.30	أفريقيا

(*) جُعِلت نسبة التصدير التي هي أكبر من 100% مساوية لـ 100%.

ويُقدَّر أن يصل حجم استيراد الموز في العالم إلى $10^7 \times 1.9416$ طن بحلول عام 2023. ومن بين جميع المناطق، يمكن لأوروبا أن تحقِّق أكبر استيراد في عام 2023 ($10^7 \times 0.8673$ طن)، تليها أميركا الشمالية والوسطى ($10^7 \times 0.6521$ طن)، وآسيا ($10^7 \times 0.3231$ طن)، وسوف يكون حجم استيراد الموز في جزر المحيط الهادي هو الأصغر ($10^7 \times 0.0100$ طن). وبحلول عام 2023، يُتَوَقَّع أن يصل حجم الاستيراد في الدول المتقدمة إلى $10^7 \times 1.6481$ طن، وهذا مقدار أكبر كثيراً مما سوف تشهد الدول النامية ($10^7 \times 0.2915$ طن). وعلى مستوى الدول، سوف تشهد الولايات المتحدة أكبر حجم للاستيراد ($10^7 \times 0.5843$ طن)، وقد تصل الصين إلى $10^7 \times 0.0543$ طن بحلول عام 2023.

2.3 توجُّهات حجم التصدير

يمكن لحجوم تصدير الموز في العالم والصين وآسيا وأميركا الشمالية والوسطى والدول النامية والدول المتقدمة وكوستاريكا وأميركا اللاتينية ومنطقة الكاريبي وأوروبا والولايات المتحدة والفلبين وأفريقيا أن تتوافق مع النموذج الخطي وأن تقدَّر بواسطته. أما فيما يخص الهند وإندونيسيا وجزر المحيط الهادي والبرازيل ونيكاراغوا وتايلاند وأستراليا والسلفادور وفيتنام، فإن حجوم التصدير لم تتوافق مع النموذج الخطي.

ينمو تصدير الموز في جميع الدول والمناطق الأخرى في السنوات الخمس عشرة القادمة، باستثناء الصين. فتصدير الموز في العالم سوف يزداد بوتيرة سنوية تساوي 277637 طن/ السنة. ومن بين جميع المناطق والدول، سوف تشهد أميركا اللاتينية ومنطقة الكاريبي أكبر وتيرة نمو (187950 طن/ السنة)، تليها أميركا الشمالية والوسطى (73282 طن/ السنة)، وأوروبا (42456 طن/ السنة)، وآسيا (38491 طن/ السنة)، وأفريقيا (22394 طن/ السنة)، وهي أصغر وتيرة نمو. وسوف تكون زيادة حجم التصدير من الدول النامية (226032 طن/ السنة) أكبر كثيراً منها في الدول المتقدمة (51605 طن/ السنة). وعلى مستوى الدول، سوف تنمو وتيرة تصدير الموز السنوي من كوستاريكا بأكثر وتيرة (22736 طن/ السنة)، تتبعها الفلبين (38757 طن/ السنة)، ويُتوقَّع أن تكون وتيرة التصدير من الولايات المتحدة هي الأصغر (9495 طن/ السنة). وبالمقارنة، سوف تتناقص وتيرة التصدير من الصين إلى 3058 طن/ السنة.

ويُقدَّر أن يصل حجم تصدير الموز في العالم إلى $10^7 \times 1.9960$ طن بحلول عام 2023. ومن بين جميع الدول والمناطق، سوف تشهد أميركا اللاتينية ومنطقة الكاريبي أكبر حجم تصدير، أي $10^7 \times 1.4224$ طن، تليها أميركا الشمالية والوسطى ($10^7 \times 0.6750$ طن)، وآسيا ($10^7 \times 0.2578$ طن)، وأوروبا ($10^7 \times 0.2210$ طن)، وسوف تكون أفريقيا في المرتبة الأخيرة ($10^7 \times 0.0982$ طن). وبحلول عام 2023، سوف يكون حجم التصدير من الدول النامية ($10^7 \times 1.7163$ طن) أكبر كثيراً منه من الدول المتقدمة ($10^7 \times 0.2796$ طن). وعلى مستوى الدول، سوف تكون كوستاريكا أكبر مصدر للموز ($10^7 \times 0.3030$ طن)، تليها الفلبين ($10^7 \times 0.2365$ طن)، وقد تحتل الصين المرتبة الأخيرة (لا تصدير).

3.3 توجُّهات التجارة الكلية

لقد توافقت حجوم تجارة الموز الكلية في العالم والصين وآسيا وأميركا الشمالية والوسطى وجزر المحيط الهادي والدول المتقدمة والدول النامية وكوستاريكا وأميركا اللاتينية ومنطقة الكاريبي والولايات المتحدة والفلبين وأوروبا والسلفادور توافقاً مثالياً مع النموذج الخطي، ويمكن تقديرها للسنوات القادمة إذا استمرت الأنماط السابقة في المستقبل. من ناحية أخرى، لم تتوافق حجوم تجارة الموز الكلية في الهند وأندونيسيا ونيكاراغوا والبرازيل وتايلاند وأستراليا وفيتنام وأفريقيا مع النموذج الخطي، ولذا لا يمكن استعماله لإجراء تقديرات لها.

ويتوقع أن تزداد في السنوات الخمس عشرة القادمة حجوم التجارة الكلية في المناطق والدول التي سوف تُجرى تقديرات لها. ويُقدَّر أن يزداد حجم تجارة الموز الكلية في العالم بوتيرة تساوي 547343 طن/السنة. ومن بين جميع المناطق والدول، سوف تشهد أميركا اللاتينية ومنطقة الكاريبي أسرع وتيرة نمو، أي 198182 طن/السنة، تتبعها أوروبا (168291 طن/ السنة)، وأميركا الشمالية والوسطى (157919 طن/ السنة)، وآسيا (86376 طن/ السنة). ويمكن أن تشهد جزر المحيط الهادي أصغر وتيرة نمو (649 طن/ السنة). ويمكن أن تكون ثمة فجوة كبيرة بين الدول المتقدمة (173593 طن/ السنة) والدول النامية (273751 طن/ السنة) في وتيرة نمو حجم التجارة الكلية. وعلى مستوى الدول، يمكن للولايات المتحدة أن تشهد أكبر وتيرة نمو (84652 طن/ السنة)، تليها كوستاريكا (44753 طن/ السنة)، والفلبين (40515 طن/ السنة)، والصين (19159 طن/ السنة)، ويتوقع أن تشهد السلفادور أصغر وتيرة نمو (1917 طن/ السنة).

ويُقدَّر أن يصل حجم تجارة الموز الكلية في العالم إلى $10^7 \times 3.9276$ طن بحلول عام 2023. وسوف تحتل أميركا اللاتينية ومنطقة الكاريبي موقع الصدارة في حجم التجارة الكلية وتصل إلى $10^7 \times 1.5022$ طن في عام 2023، تليها أميركا الشمالية والوسطى ($10^7 \times 1.3271$ طن)، وأوروبا ($10^7 \times 1.0952$ طن)، وآسيا ($10^7 \times 0.5839$ طن)، وسوف تكون جزر المحيط الهادي في المؤخرة بحلول عام 2023 ($10^7 \times 0.0082$ طن). وسوف يكون حجم التجارة الكلية في الدول النامية ($10^7 \times 2.0098$ طن) أكبر قليلاً منه في الدول المتقدمة ($10^7 \times 1.9278$ طن). وعلى مستوى الدول، سوف تكون

الولايات المتحدة في موقع الصدارة بحجم تجارة كلية يساوي $10^7 \times 0.6451$ طن في عام 2023، تليها كوستاريكا ($10^7 \times 0.3026$ طن)، والفلبين ($10^7 \times 0.2422$ طن)، والصين ($10^7 \times 0.0869$ طن). ويتوقع أن يكون حجم تجارة الموز الكلية في السلفادور صغيراً ويساوي $10^7 \times 0.0127$ طن.

4.3 توجُّهات نسب التصدير

في السنوات الخمس العشرة القادمة، يُتوقع أن تبقى نسب التصدير في الدول والمناطق التي انطبق عليها النموذج الخطي عند مستويات معينة مع نمو بطيء، وتُستثنى من ذلك آسيا والصين حيث يُتوقع أن تتناقص نسب التصدير منها في المستقبل.

ويُتوقع أن تزداد نسبة تصدير الموز في العالم بـ 22.76% بحلول عام 2023. ويتوقع أن تزداد نسبة التصدير من أوروبا والولايات المتحدة والدول المتقدمة بـ 100%. ويمكن أن تشهد أميركا الشمالية والوسطى زيادة في نسبة التصدير تساوي 62.02%. ويمكن أن تزداد نسب التصدير من أميركا اللاتينية ومنطقة الكاريبي وأفريقيا وآسيا بـ 47.86% و 10.49% و 5.52% و 5.52% بحلول عام 2023. وسوف تكون زيادة نسبة التصدير من الدول النامية (19.87%) أصغر كثيراً منها من الدول المتقدمة. وعلى مستوى الدول، سوف تشهد كوستاريكا أكبر نسبة تصدير (96.47%)، وسوف تساوي نسبة التصدير من الفلبين 33.85%.

خلاصة ومناقشة

إذا استمرت أنماط الاستيراد السابقة، اتَّبِع استيراد الموز في العالم مساراً متنامياً بوتيرة سنوية تساوي 269706 طن/ السنة. ويمكن أن يصل حجم الاستيراد إلى $10^7 \times 1.9416$ طن بحلول عام 2023. ويمكن لتصدير الموز في العالم أن يشهد نمواً بوتيرة تساوي 277637 طن/ السنة، وبحلول عام 2023 يمكن للتصدير أن يصل إلى $10^7 \times 1.9960$ طن. ويتوقع أن يزداد حجم تجارة الموز الكلية في العالم بوتيرة تساوي 547343 طن/ السنة، وأن يصل بحلول عام 2023 إلى $10^7 \times 3.9276$ طن. ويتوقع أن تزداد نسبة التصدير في العالم لتصل إلى 22.76% بحلول عام 2023.

ولم يكن من الممكن تقدير حجوم تجارة الموز في بعض المناطق والبلدان

بسبب العديد من العوامل المؤثرة، منها إنتاج الموز، وجودة الأصناف، وطلب المستهلك، ومتغيرات السوق الأخرى. وفي تسعينات القرن الماضي، تأثرت تجارة الموز العالمية كثيراً بسياسة استيراد الموز في الاتحاد الأوروبي، واشتعلت حرب تجارة الموز بقرارات منظمة الفاو. وبحلول نهاية تسعينات القرن العشرين، أدى الإمداد المتزايد بالموز من الإكوادور والدول الأخرى المنتجة للموز إلى فائض في المتوافر في السوق العالمية. إلا الفائض في تسعينات القرن السابق يجب أن يُعزى إلى تعديلات سياسة تجارة الموز في الاتحاد الأوروبي وما أعقبها من تغيرات في أسواق الموز في الأسواق الأوروبية. وعادة، كان ثمة طلب كثير للموز في أسواق آسيا. إلا أن وضع روسيا الاقتصادي والأزمة المالية الآسيوية في أواخر تسعينات القرن العشرين أعاقا نمو استيراد الموز في تلك المنطقة. ووصل الإمداد بالموز في الولايات المتحدة إلى الإشباع تقريباً، وأصبح نمو استيراده بطيئاً. ولم يُحقق استهلاك الموز في الاتحاد الأوروبي في تسعينات القرن العشرين النمو الذي جرى تقديره سابقاً. وأدت العوامل السابقة إلى انخفاض أسعار الموز عالمياً، وكسدت تجارة الموز في تلك الفترة. وبدأت أسعار الموز بالارتفاع منذ عام 2001 بسبب إعصار أميركا اللاتينية الذي أدى إلى انخفاض كبير في إنتاج الموز. وفي المدة من عام 2002 حتى عام 2004، بدأت تجارة الموز بالنمو ببطء (Xu, 2006). وأدت عوامل عدم اليقين تلك إلى اضطرابات من حين إلى آخر في تجارة الموز في بعض الدول والمناطق، ولذا لم يكن بالإمكان تقدير حجوم تجارة الموز فيها باستعمال النموذج الخطي.

ويُتوقع أن يزداد إنتاج الموز في الصين بوتيرة تساوي 127981.5 ± 22735.0 طن/السنة. وقد قُدِّر أن يكون النمو الكلي النسبي لإنتاج الموز في الصين الأكبر عالمياً (Zhang et al., 2008). إلا أن حالة تجارة الموز في الصين أكثر تعقيداً. ففي ستينات وسبعينات القرن الماضي، اعتُبر إنتاج الموز في الصين صفراً، وتُستثنى من ذلك الفترة من عام 1973 حتى عام 1976. وبدأت الصين منذ أوائل ثمانينات القرن السابق باستيراد الموز، إلا أن ذلك الاستيراد كان متفاوتاً. ومنذ بداية تسعينات القرن السابق، ازداد الاستيراد كثيراً ووصل إلى الذروة في عام 2000. وفي الفترة من عام 2001 حتى عام 2004، تراجع استيراد الموز. وازداد تصديره ازدياداً كبيراً في أوائل ستينات القرن العشرين ووصل إلى ذروته في عام 1967. وتراجع التصدير منذ أواخر الستينات (FAO, 2004). وعُزيت هذه التغيرات في حجوم تجارة الموز

جزئياً إلى الوضع السياسي والاقتصادي في الصين في السنوات السابقة. فالفقر قبل أوائل الستينات، والثورة الثقافية في أواسط الستينات وأواخر السبعينات، والإصلاح الاقتصادي منذ أواخر السبعينات، والانضمام إلى منظمة الفاو قبل عدة سنوات من ذلك، جميعها أثرت في تطوير أنماط راسخة لتجارة الموز في الصين.

والياً، تحتل الصين المرتبة الثالثة في العالم في إنتاج الموز، وكان حجم صادرات الموز منها دائماً أكبر قليلاً من حجم الواردات. ويعتمد 10% من الاستهلاك المحلي للموز في الصين على الاستيراد من الخارج، وبذلك تكون الصين في المرتبة السادسة عالمياً في استيراد الموز. والياً، لا يزيد استهلاك الفرد من الموز في الصين عن 4.5 كيلو غراماً سنوياً، وهو معدل أدنى كثيراً من الوسطي العالمي، وأقل من عُشر مستوى الاستهلاك في الدول المتقدمة (Economic Daily News, 2004). لكن مع تحسُّن مستوى المعيشة في الصين، سوف يزداد استهلاك الموز فيها كثيراً في المستقبل، ولذا سوف يزداد حجم استيراده، وسوف يؤثر الموز الأجنبي المستورد بدرجة معينة في إنتاج الصين منه. أكثر من ذلك إن حجم تصدير الموز من الصين يمكن أن يتناقص في السنوات القادمة، وفقاً لما قُدِّرَ آنفاً. وهذا يقتضي تحسين جودة الموز المحلي، وتطوير إنتاجه. ومنذ أن انضمت الصين إلى منظمة التجارة العالمية، واجهت كثيراً من ادعاءات إغراق الأسواق والعوائق التقنية من أوروبا والولايات المتحدة، وتأثر المصدرون الصينيون بذلك كثيراً. وهذا يقتضي مزيداً من اهتمام الحكومة والشركات (Chang, 2004). فمن خلال وضع آلية لتجارة الموز، وتطوير سياسات تفضيلية وتبني تكنولوجيات متقدِّمة، يمكن للموز الصيني تلبية احتياجات السوق المحلية، وفوق ذلك، دخول السوق العالمية (Lu, 1994; Zhang, 2007).

لقد تركّزت الدراسات التحليلية لتجارة الموز بمعظمها في سنوات معينة، ومناطق محددة (Huang, 2005; Xu, 2006; Xu, 2006; Wang et al., 2006; Li et al., 2008). أما الدراسة الحالية فقد اهتمت بمواءمة البيانات التاريخية مع نموذج الاستشراف، وأجرت استشرافات بعيدة المدى لتجارة الموز في المناطق والدول الرئيسية. لذا يُتوقَّع أن تكون نتائجها أكثر إقناعاً. إلا أن ثمة حاجة إلى المزيد من هذه البحوث في المستقبل لتحقيق الرؤية السليمة.

كلمة شكر

مؤل هذا البحث من قبل IAEES وبرنامج البحث الأساسي الوطني في الصين
(No. 2006CB102005) (Program 973).

مراجع

- Fao, Faostat: Agriculture, 2006.
- Chang, P. F. (2004). International market positioning and marketing strategy of agricultural exports. *Agricultural Economic Issues*, 2, 72-74
- Deng; S. Y. (2002). Impact analysis on the production and marketing of domestic banana after joining WTO. *China Fruit & Vegetable*, 3, 7.
- Huang, Y. (2005). The situation of banana production and marketing of Latin America and the Caribbean. *World Tropical Agriculture Information*, 5, 1-2
- Huang, Y. (2005). The situation of banana production and marketing of Asia. *World Tropical Agriculture Information*, 5, 14-16
- Huang, Y. (2005). The situation of banana production and marketing of Oceania. *World Tropical Agriculture Information*, 5, 17
- Lu, S. H. (1994). Change the traditional production and marketing ways to ensure the international marketing of China banana. *Journal of Guangxi Agriculture*, 3, 52-54.
- Li, Y. P., Fang, J. & Dong, D. C. (2008). The present situation and trend for development of the world banana industry. *Guangdong Agricultural Sciences*, 2, 115-119.
- SPSSInc., SPSS for Windows 11.0.0, 2001.
- Tilman, D., Fargione, J., Wolff, B., et al., (2001). Forecasting agriculturally driven global environmental change. *Science*, 292, 281-284

Wang, Q. & Xu, C. M. (2006). An analysis on present situation of world banana. *World Agriculture*, 10, 25-28.

Xu, C. M. (2006). An analysis on world banana trade. *World Tropical Agriculture*

Information, 2, 13-14.

Xu, L. B. (2006). An overview of the world banana industry in 2006. *Proceedings of Tropical Fruits Industry Development*, pp 33-36.

Yuan, Y., Peng, D. Y. & Chen, D. S. (2006). A short analysis on the situation of the world banana industry. *Yunnan Agricultural Science and Technology*, 2, 59-61.

Zhang, W. J., Qi, Y. H. & Zhang, Z. G. (2006). A long-term forecast analysis on worldwide land uses. *Environmental Monitoring and Assessment*, 119, 609-620

Zhang, X. Y., Xia, Y. K. & Zhang, W. J. (2008). A forecast analysis on banana production worldwide (under review)

Zhang, Y., Zhao, Y. & Qi, C. J. (2007). A tracking study on comparative advantages of competitiveness of Chinese fruits after joining WTO. *China Fruit News*, 24(5), 1-4.

Zhu, J. M. (2004). How to speed up the industrialization process of China banana. *Modern Agricultural sciences*, 7, 26-27.

الفصل الخامس عشر

كيف تساعد الرياضيات صناعة زيت الزيتون

José S. Torrecilla^(*)

Department of Chemical Engineering, Faculty of Chemistry,
Universidad Complutense

de Madrid. Avda. Complutense, s/n. 28040 Madrid, Spain

ملخص

جرى إنتاج زيت الزيتون على مدى خمسة آلاف السنة الماضية باستعمال أصناف مختلفة من الزيتون مع تقنيات تصنيع متنوّعة، وأدى ذلك إلى أنواع مختلفة من زيت الزيتون والمخلفات. وكان الشيء المهم دائماً هو الحفاظ على جودة عالية من زيت الزيتون البكر الفائق النقاء، وعلى خواصه العضوية الدهنية، إضافة إلى تقليص مفعول مخلفاته البيئي إلى أدنى حدّ ممكن بطريقة غير مكلفة. وفي الآونة الأخيرة، وبغية استثمار منظومات الإنتاج مع الأخذ في الحسبان متطلبات هذه الصناعة، استُعملت خوارزميات رياضية (استرجاعية خطية ولا خطية Linear & Non-Linear Regression) على نطاق واسع. وفي هذا الفصل، نقدّم وصفاً لأنواع الخوارزميات الرياضية الحاسوبية المختلفة (تحليل المكونات الأساسية Principal Component Analysis)

(*) المؤلف المراسل: E-mail: jstorre@quim.ucm.es. Tel: +34 91 394 42 40; Fax: +34 91 394 42 43.

(Component Analysis)، والشبكات العصبونية، والاسترجاع الجزئي ذي الخطأ التربيعي الأصغري (Partial Least Squares Regression)، واسترجاع رياضي... إلخ) المستعملة في نمذجة العمليات الكيميائية ذات الصلة بقطاع زيت الزيتون والتحكّم فيها، مع الحفاظ على جودة زيت الزيتون البكر الفائق النقاوة، ومنع غشه، إضافة إلى تحديد المفعول البيئي لمخلفات الزيتون بعد عصره.

تقديم

نتيجة لخواص زيت الزيتون البكر الفائق النقاوة الغذائية والصحية واحسية، يُعتبر واحداً من أغنى المنتجات الغذائية. ويتصدّر الاتحاد الأوروبي إنتاجه في العالم، فهو يُنتج نحو 80% من الإنتاج العالمي منه، ويستهلك نحو 70% من زيت الزيتون المنتج في العالم. وفي عام 2008، أُنتج أكثر من 2.8×10^6 طن من زيت الزيتون و 6.9×10^5 طن من زيتون المائدة في العالم، أُنتج منها 76.4% و 41.6% في الاتحاد الأوروبي (International Olive Council, 2008). وإلى جانب زيت زيتون المصابيح (غير الصالح للطعام) المنتج في العالم، يُنتج نحو 3×10^7 متراً مكعباً من المراهم الزيتية على شكل منتجات ثانوية بطريقة الضغط أو بعمليات ثلاثية أو ثنائية الأطوار. وبالمعالجات الفيزيائية والكيميائية، تُنتج أصناف أخرى من درجات متدنية من زيت الزيتون (نفل، أو زيت زيتون بكر يُنتج بعملية طرد مركزية ثانية للزيتون أو زيت الزيتون المصفى). ويسمح محتوى تلك المنتجات الثانوية من البوتاسيوم والفوسفور، أو محتواها المنخفض من الكبريت، بإنتاج ساد عضوي منها ووقود نظيف و كربون فعال وزيت عطرية... إلخ (Torrecilla et al., 2001; Torrecilla et al., 2004). وفي المحصلة، يمكن إنتاج عدد كبير من المنتجات ذات الأثر الإيجابي على صحة البشر في قطاع صناعة زيت الزيتون.

فما هو السر الذي يجعل زيت الزيتون مختلفاً عن زيوت الطعام الأخرى؟ في حالة زيت الزيتون البكر الفائق النقاوة، المادة الخام هي الثمرة، أما في حالات الزيت الأخرى (زيت اللوز، أو زيت عباد الشمس، أو زيت السمسم... إلخ) فهي البذرة. يُري الجدول 1 تركيب الزيتون. يُضاف إلى ذلك أن عملية استخراج الزيت مختلفة. فعادة، يحصل فصل زيت البذور بالاستخلاص بواسطة مذيب. أما استخراج زيت الزيتون البكر الفائق النقاوة فيحصل بعمليات مستمرة أو عمليات ضغط، حيث يُلتقط الزيتون ويُغسل ويُسحق، وتُدعك العجينة الناتجة. ثم يُفصل طور الزيت عن الطور الصلب (المكوّن من القشر واللب والنوى) بالطرد المركزي في مصفّيات

أفقية أو بالضغط الهيدروليكي. وفي النهاية، يُصَفَّى الناتج فيزيائياً بالطرد المركزي في مصفّيات عمودية (Torrecilla et al., 2009).

وللحصول على زيت زيتون بكر فائق النقاوة بأعلى جودة ممكنة، يجب الأخذ في الحسبان عاملين هامين، أولهما أنه يجب جني الزيتون من الشجرة، لا التقاطه من الأرض، وبعد جني الزيتون، يجب استخراج الزيت بأسرع ما يمكن. وإحدى المشكلات المهمة في الحالة الأخيرة هي عملية القطف، التي تتطلب يداً عاملة كثيرة، لا تدوم سوى أربعة أشهر (من أوائل شهر تشرين الثاني/ نوفمبر حتى أواخر شهر شباط/ فبراير)، إضافة إلى كميات الزيتون الهائلة التي يجب التعامل معها خلال تلك المدة (Torrecilla et al., 2009).

الجدول 1: تركيب الزيتون (Aragón and Palancar, 2001).

المكوّن (%)	اللّب	قشر النوى	النواة
ماء	60-50	9.3	30
زيت	30-15	0.7	27.3
مكوّنات تحتوي على النتروجين	5-2	3.4	10.2
سكر	7.5-3	41	26.6
سيللوز	6-3	38	1.9
معادن	2-1	4.1	1.5
فينولات متعددة	2.25-2	0.1	1-0.5
مواد أخرى	-	3.4	2.4

وتبعاً لنوع عملية استخراج الزيت من الزيتون (بالضغط أو بعمليات ثلاثية أو ثنائية الأطوار)، تتّجّ فضلات مختلفة. تتّجّ من المصفّيات الثلاثية الأطوار ثلاثة أنواع من المواد: زيت الزيتون، وسائل أسود بني من الزيتون، وماء الغسيل (يسمى aqua reflue بالإيطالية، وkatsigaros باليونانية، وalpechin بالإسبانية، وزيبار بالعربية) الذي يُسمى أيضاً ماء غسيل معصرة الزيتون، وبقايا صلبة. ويتضمن الجدول 2 الحدين الأقصى والأدنى للملوّثات والمكوّنات العضوية والقيمة الوسطى للمكوّنات اللاعضوية في ذلك السائل. وفي المصفّيات الثنائية الأطوار الحديثة، تتّجّ مادتان مختلفتان: زيت الزيتون وفضلات صلبة سائلة، أو ثفل ثنائي الأطوار (راسب نصف صلب يُعرّف

بالإسبانية بـ alperujo). ويتألف تفل زيت الزيتون بصورة رئيسية من الماء (الماء الطبيعي الموجود في الزيتون، وأحياناً الماء المضاف بغرض التنظيف وعمليات العجن)، و22% من اللب، و20% من النوى، و3% من الزيت. ويتضمن الجدول 3 بعض خواص تفل زيت الزيتون الذي يمثل في حوض البحر المتوسط واحدة من المشكلات البيئية. يتضمن الجدول 4 الخواص المهمة للمخلفات الرئيسية في قطاع صناعة زيت الزيتون.

وتعتمد كمية فضلات استخراج زيت الزيتون على عملية التصنيع المستعملة. يُري الجدول 4 أن كل 1000 كيلو غرام من الزيتون تؤدي إلى مخلفات وزنها 1000 كيلو غرام في حالة الضغط، و1500-1800 كيلو غرام في عمليات الأطوار الثلاثة، و800-950 كيلو غرام في عمليات الطورين (Kapellakis et al., 2008). ومن هذه الكميات، ثمة 600 كيلو غرام من ماء الفضلات في الحالة الأولى، و1000-1200 كيلو غرام في الحالة الثانية، و0 كيلو غرام في الحالة الثالثة. وفي حالة الطورين، الماء موجود بصورة رئيسية ضمن الفضلات الصلبة (تفل الزيتون). وتولّد عملية الطورين تفلًا مع رطوبة تساوي نحو 60% على أساس مبلول (Torrecilla et al., 2006). ولإدراك أهمية مفعول التفل البيئي، فإنه يعادل تلوثاً يُنتجُه أكثر من 22 مليون شخص في السنة (Isidori et al., 2005).

الجدول 2: خواص الماء الذي يخرج من معصرة زيت الزيتون وتركيبه الكيميائي (Kapellakis et al., 2008).

منظومة المعالجة		
طرد مركزي	ضغط	
الملوثات		
180 - 60	130 - 120	كمية الأكسجين الكيميائي (g/L)
55 - 20	100 - 90	كمية الأكسجين الحيوي (g/L)
0.9	0.1	العوالق الصلبة (%)
6	12	المواد الصلبة الكلية (%)
المكوّنات العضوية (%)		
2.6 - 0.5	8.0 - 2.0	سكر
0.3 - 0.1	2.0 - 0.5	مركبات نتروجين
0.4 - 0.2	1.5 - 0.1	حموض عضوية
0.5 - 0.3	1.5 - 1.0	كحولات متعددة

0.5 – 0.2	1.5 – 1.0	بتنوزات، تآينيات
0.8 – 0.3	2.4 – 2.0	فينولات متعددة
2.3 – 0.5	1.00 – 0.03	دهون
المكوّنات اللاعضوية (%)		
0.03	0.11	فوسفور
0.27	0.72	بوتاسيوم
0.02	0.07	كاليوم
0.01	0.04	مغنيزيوم
0.03	0.09	صوديوم
0.01	0.03	كلور

الجدول 3: بعض الخواص الفيزيائية والكيميائية لثفل زيتون ثنائي الأطوار
(Torrecilla et al., 2006).

الموسط	القيمة
قيمة التسخين الدنيا (kJ/kg)	18.0
كربون (%)	45 – 38
أكسجين (%)	34 – 20
هيدروجين (%)	5.5 – 4
نتروجين (%)	4 – 0.78
كبريت (%)	0.04 – 0.01
فوسفور (%)	0.25
بوتاسيوم (%)	1.8
فينولات متعددة (جزء من مليون)	23000
سكريات (%)	4.8
رماد (%)	12 – 4

الجدول 4: مقارنة بيانات عمليات استخراج زيت الزيتون (Aragón and Palancar, 2001)

العملية	الدخل	مقدار الدخل	الخرج	مقدار الخرج
	زيتون	1000 كيلو غرام	زيت زيتون	200 كيلو غرام
كبس	ماء غسيل	0.12-0.1 متراً مكعباً	فضلات صلبة (25% ماء + 6% زيت)	400 كيلو غرام
	طاقة	40-63 كيلو واط ساعي	ماء فضلات (88% ماء)	600 كيلو غرام
	زيتون	1000 كيلو غرام	زيت زيتون	200 كيلو غرام
	ماء غسيل	0.12-0.1 متراً مكعباً	فضلات صلبة (50% ماء + 4% زيت)	500-600 كيلو غرام
ثلاثة أطوار	ماء نقى للمصفي	0.5-1.0 متراً مكعباً		
	ماء لتنقية الزيت غير النقي	10 كيلو غرام	ماء فضلات (94% ماء + 1% زيت)	1000-1200 كيلو غرام
	طاقة	9-117 كيلو واط ساعي		
	زيتون	1000 كيلو غرام	زيت زيتون	200 كيلو غرام
طوران	ماء غسيل	0.12-0.1 متراً مكعباً	ماء فضلات (60% ماء + 3% زيت)	800-950 كيلو غرام
	طاقة	>90-117 كيلو واط ساعي		

لذا، وبغية تحقيق أصغر مفعول بيئي ممكن لهذه المخلفات مع الحفاظ على أعلى جودة ممكنة للزيت المستخرج (مع الأخذ في الحسبان العوامل الاقتصادية دائماً)، يغدو استعمال الخوارزميات الرياضية في قطاع زيت الزيتون ضرورياً. وتهتم تطبيقات الرياضيات الثلاثة، الأكثر شيوعاً، بجودة الزيت المنتج، وبعمليات

إدارة المخلفات، ونمذجة عمليات التصنيع والتحكُّم فيها. وثمة طيف أوسع من الخوارزميات الرياضية التي تقوم على خوارزميات خطية (استرجاع متعدد المتغيرات، تحليل المكوّنات المبدئية... إلخ) أو لا خطية (شبكات عصبونية صناعية، ومنطق ترجيحي... إلخ). لكنّ بسبب الطبيعة التطبيقية لهذا الفصل، فإنه لا يتضمن وصفاً تفصيلياً لتلك الخوارزميات، بل يمكن العثور عليه في منشورات أخرى (Montgomery and Peck, 1982; Beers, 2007; Torrecilla et al., 2009; Fine, 1999).

استعمال الخوارزميات في تحديد جودة زيت الزيتون

يُعتبر غش المنتجات الغذائية بمواد أرخص وأسهل توافراً مشكلة متفشية وُجدت منذ القدم. وفي العقود الأخيرة، ونظراً إلى السعر المرتفع لزيت الزيتون البكر الفائق النقاء، كُشفت حالات كثيرة من الغش. إن غشّ زيت الزيتون البكر الفائق النقاوة ليس مجرد احتيال اقتصادي، بل يمكن أن تترتب عليه أحياناً عواقب صحية خطيرة للمستهلكين، ومن أمثلة ذلك متلازمة الزيت السام الإسباني (Lee et al., 1998; Mildner-Szkudlarz and Jelen, 2008).

يتعرّض زيت الزيتون البكر الفائق النقاء إلى نوعين رئيسيين من الغش. في النوع الأول، يُخلط بزيوت زيتون متدنية الدرجة (زيت نفل الزيتون، وزيت يُنتج بعملية طرد مركزي ثانية للزيتون، وزيت زيتون مصفّى). وفي الثانية، يُخلط الزيت البكر الفائق النقاء مع زيوت أخرى مشابهة رخيصة من مثل زيوت البذور (زيت البندق، وزيت عباد الشمس، وزيت الدرة، وزيت فول الصويا، وزيت النخيل... إلخ) (Mildner-Szkudlarz and Jelen, 2008; Peña et al., 2005; Dourtoglou et al., 2003) على سبيل المثال، نظراً إلى التشابه بين زيت الزيتون البكر الفائق النقاء وزيت البندق، من الصعب كشف هذا النوع من الغش، خاصة إذا كان تركيز زيت البندق أقل من 20% (Mildner-Szkudlarz et al., 2005; Peña et al., 2008; and Jelen, 2008). لكنّ أصبح في الآونة الأخيرة من الممكن كشف هذا النوع من الغش بمساعدة خوارزميات رياضية وفقاً لما سوف نراه لاحقاً.

وبرغم أن من الممكن فحص جودة زيت الزيتون البكر الفائق النقاوة بواسطة الكواشف الكيميائية وبتقييم محتواه العضوي الدهني (Commission Regulation (EC) No 1989/2003)، فإنه ليس ثمة كاشف موثوق واحد لتحديد المنشأ الجغرافي لشار

الزيتون وتحديد تصنيف المنشأ، أو حتى تحديد صنفها (Marini et al., 2004; Lopes et al., 2008). لكن من أجل كشف الغش في زيت الزيتون البكر الفائق النقاء أو تحديد أنواع الزيوت النباتية، يجب تحديد التراكيز الكمية للكيمائيات الموجودة في الزيوت (الحموض، والستيرولات، والفينولات المتعددة... إلخ)، وخواصها الفيزيائية الكيميائية (الكثافة، ومعامل انكسار الضوء، وعامل التصبُّن (Saponification)... إلخ) (Commission Regulation (EC) No 1989/ 2003, Food and Agriculture Organization of the United Nations, 1999). ويمكن تحديد تلك العوامل أيضاً باستعمال عدد كبير من وسائل القياس الكيميائية التي تقوم على تقنيات من مثل قياس طيف الرنين المغنطيسي النووي (Vigli et al., 2003)، وقياس رامان الطيفي بتحويل فورييه (Baeten et al., 1998)، وكروماتوغرافيا الغاز، وكروماتوغرافيا السوائل العالية الدقة (Brodnjak-Voncina et al., 2005)، والقياس الطيفي الفلورنسي (Sayago et al., 2007)، وبصمة الدنا (Martins-Lopes et al., 2008)... إلخ. ولاستخلاص أكثر المعلومات أهمية من قواعد البيانات الضخمة المحتوية على خصائص وتركيب وتركيز الكيمائيات في كل نوع من الزيوت النباتية، ثمة حاجة إلى تقنيات إحصائية. وبعض أكثر تلك التقنيات أهمية واستعمالاً هي الخوارزميات الخطية، مثل تحليل المكونات الأساسية (Mildner-Szkudlarz and Jelen, 2008; Dourtoglou et al., 2003)، وتقنيات الاسترجاع المتعددة المتغيرات (Mildner-Szkudlarz and Jelen, 2008, Vigli et al., 2003)، أو الخوارزميات اللاخطية، ومنها الشبكات العصبونية الصناعية.

وفي مجال الزيوت النباتية، استعملت نماذج المخططات الذاتية التنظيم (Self-Organizing Maps) وشبكات الاستكمام الشعاعي المتعلمة (Learning Vector Quantization Networks). تقوم هاتان الشبكتان العصبونيتان على شبكات كوهونين (Kohonen's Networks) (Kohonen, 1987)، وهما من أهم المواضيع المهمة في حقل الشبكات العصبونية التنافسية. ونظراً إلى أنهما شبكتان عصبونيتان غير خاضعتين للإشراف، ليست ثمة حاجة إلى معرفة الخرج. ويمكن تدريب هذا النوع من الشبكات على كشف الشذوذات والترابطات في دخلها، وتكييف استجاباتها المستقبلية مع ذلك الدخل تبعاً لذلك، أي إنها قادرة على تمييز المجموعات ذات الخصائص المتشابهة. وأحد تطبيقات نماذج المخططات الذاتية التنظيم هو ذلك الذي طوّره برودينك فونسينا وآخرون (Brodnjak-Voncina et al.) الذين استعملوا شبكات كوهونين العصبونية لتجميع عينات الزيوت النباتية ضمن مجموعات (Brodnjak-Voncina et al., 2003).

(al., 2005). واستعمل ماريني وآخرون (Marini et al., 2007) هذا النموذج لاختيار عينات تدريب وتحقق وإقرار ملائمة استعملت في شبكة عصبونية ذات تغذية أمامية (انظر ما سوف يلي) من أجل تحليل خلائط ثنائية من زيوت زيتون طلياني وحيد الصنف (Marini et al., 2007). وفي ضوء النتائج الناجحة في مجالات علمية أخرى، منها تعرّف الصورة وقطّاعات البتروكيمياويات، والمقدرة التمييزية للمجموعات المتشابهة الخصائص (باستعمال نماذج المخططات الذاتية التنظيم) (Kohonen, 1987; Demuth et al., 2005)، وحتى إمكان تصنيف تلك المجموعات في فئات محددة من قبل المستعمل (باستعمال نماذج شبكات الاستكمام الشعاعي المتعلمة) (Demuth et al., 2005, Lloyd et al., 2007)، تُستعمل خوارزميات خطية (تحليل المكونات المبدئية) ولا خطية (مخططات ذاتية التنظيم ونماذج شبكات الاستكمام الشعاعي المتعلمة) في عدد متزايد من البحوث ذات الصلة بهذا الهدف في قطاع زيت الزيتون.

استعمال الخوارزميات لتحديد المركبات الخطرة

صحيح أن ثمة طرائق تحليلية كثيرة لتحديد المركبات الخطرة التي من مثل المركبات الفينولية ومشتقاتها، ومن تلك الطرائق القياسات الطيفية (Bosch et al., 1987)، وكروماتوغرافيا السوائل العالية الأداء (Zhao and Lee, 2001)، وكروماتوغرافيا الغاز (Bartak et al., 2000)، والقياس الطيفي وكروماتوغرافيا الغاز (Tasioula-Margari and Okogeri, 2001)... إلخ، إلا أنه ما زالت ثمة حاجة إلى وسائل تحليلية بسيطة نسبياً ملائمة لإجراء الاختبارات، وإلى تحاليل سريعة لهذه الأنواع من المركبات في العينات الحقيقية المعقدة، ومنها الفضلات السائلة الناتجة من الطريقة الثلاثية الأطوار (ماء فضلات معصرة الزيتون). وفي هذا السياق، جرى تطوير مجّات حيوية إلكتروكيميائية مع لاكّاز (Laccase) لتكون عناصر تمييز حيوية لتحليل الفينولات، وذلك من خلال تثبيتها على سطوح أقطاب مختلفة من مثل ألياف الكربون (Freire et al., 2002)، والكربون الزجاجي (Freire et al., 2002b)، والغرافيت (Haghighi et al., 2003)، ومعجونة الكربون (Leite et al., 2003)، وأغشية سولفون الإثر المتعدد (Polyethersulfone) على قطب لقاعدة مجسّات عامة (Gomes and Rebelo, 2003)، ومجسّات بلاتين الأنيلين المتعدد المعدّل المتشابهة (Timur et al., 2004)، وهلام بيروليدون الفينيل المتعدد (Polyvinylpyrrolidone) المرسّب على إلكترود

كلارك (Roy et al., 2005)، والسطح الذهبي (Vianello et al., 2004). وتُستعمل في هذا النوع من الاختبار تفاعلات إنزيمية مع قياس التيار الكهربائي للمنتج. ولتحديد المركبات الفينولية، يُستعمل إنزيم لاكاز بوصفه جزء التعرّف الإنزيمي. إن هذا الإنزيم معروف بإرجاعه الأكسجين مباشرة إلى ماء من دون تشكيل للوسيط بيروكسيد الهيدروجين على حساب أكسدة مواد مختلفة مثل الفينولات. ويُستعمل إرجاع المنتجات بطريقة قياس التيار بعدئذٍ بطريقةٍ للتحديد الكمي، وذلك بمجرد تطبيق كمونات إرجاع كهربائية. أما مركبات الفينول التي تُختبر عادة فهي حمض البن (Caffeic) والكاتيكول (Catechol) لأنها من مركبات الفينول الرئيسية الموجودة في ماء فضلات معصرة الزيتون، ولأنها من أكثر ركائز اللاكاز حساسية (Haghighi et al., 2003). ونظراً إلى تشابه الأجناس المتأكسدة الناتجة، يكون تراكب إشارة قياس التيار في مخططات الإرجاع الفولتية كبيراً. وتحوّل هذه الحقيقة مسألة تحديد المركبات إلى دراسة للقياسات الكيميائية، وهي حالة يمكن تطبيق الخوارزميات الرياضية عليها. وتقوم الشبكات العصبونية الأمامية التغذية على نموذج رياضي تحت الإشراف قادر على ربط موسطات الدخل والخرج معاً من دون الحاجة إلى معرفة مسبقة بالعلاقات بين الموسطات الكيميائية. يُضاف إلى ذلك أن بنيتها بسيطة نسبياً، فهي تحتوي على وصلات على التسلسل والتوازي بين العصبونات. وهذا يعني مدة حساب قصيرة ومناعة عالية وأداءً متكيفاً (Palancar et al., 1998). وقد ورد استعمال الشبكات العصبونية الأمامية التغذية من أجل تحديد المركبات الفينولية أيضاً في (Trojanowicz et al., 1999; Gutés et al., 2005).

استعمال الخوارزميات في العمليات الكيميائية الصناعية

على غرار القطاعات الصناعية الأخرى، تُستعمل الخوارزميات الرياضية بمعظمها في نمذجة العمليات الكيميائية والتحكّم فيها. وفي ما يخصّ زيت الزيتون المخصّص لغذاء البشر، فإن مواصفاته أكثر صرامة، وثمة عدد كبير من المتغيّرات التي يجب التحكّم فيها أو نمذجتها. وفي النتيجة، تكون تلك المهام أكثر تعقيداً وتعقيداً من تلك الموجودة في قطاعات صناعية غير غذائية أخرى. وقد طبّق غراف وآخرون (Graaff et al.) نموذج محاكاة بالبرمجة الخطية (Linear Programming Simulation Model) لدراسة إنتاج زيت الزيتون على الأراضي المنحدرة (Graaff et al., 2008). ومن أجل إحدى مراحل عملية استخراج زيت الزيتون، طوّر سونيا وآخرون (Sonia

et al.) نموذجاً قائماً على الاسترجاع الجزئي ذي الخطأ التربيعي الأصغري لنمذجة نشوء الألدريدئين C_5 و C_6 والكحولات في معالجة زيت الزيتون البكر الفائق النقاء (Sonia et al., 2009). واستعملت نماذج ترموديناميكية أخرى في جزء آخر من البحث ذي الصلة باستخراج زيت الزيتون، خاصة في ما يتعلق بإزالة أكسدة الزيت (Vázquez et al., 2009).

وفي ما يخص معالجة الفضلات الناتجة من عملية استخراج زيت الزيتون، استعملت نماذج تقوم على الشبكات العصبونية الأمامية التغذوية من أجل وصف عملية تجفيف ثفل الزيتون (Torrecilla, 2004; Torrecilla et al., 2008). وباستعمال خوارزميات رياضية أخرى، أتبع جابون ليوان وآخرون (Japon-Lujan et al.) منهجية متعددة المتغيرات لإجراء استمثال تفصيلي لاستخراج تيروسول الهيدروكسي (Hydroxytyrosol) والفينولات الحيوية الأخرى من الثفل ذي الطورين (Alpeorujó)، (Japon-Lujant and Luque de Castro, 2007). ويشار هنا إلى استعمال ثفل استخراج الزيت بالضغط لاستخلاص صبغة الميثيلين الزرقاء وغيرها من المحاليل المائية. وقد نُمدجت هذه العملية بنماذج متغيرات من المرتبتين الأولى والثانية (Banat et al., 2007). ودرس تورس وآخرون (Torres et al.) أيضاً ونمذجا التحليل الإيثانولي لمادة الفضلات الناتجة من تقطير زيت الزيتون المسرع بليبازات (Lipases) تجارية مختلفة (Torres et al., 2007).

ونظراً إلى خصوبة الخوارزميات الرياضية السابقة الذكر، يتزايد عدد المنشورات العلمية ذات الصلة بتطبيقاتها في قطاع زيت الزيتون. يُضاف إلى ذلك أنه مع مرور الوقت، يستمر أداء النماذج المستعملة بالتحسُّن على نحو لافت. إلا أنه في جميع الحالات تجب دائماً مراجعة جميع المتوسطات الكيميائية والفيزيائية المستمثلة بخوارزميات رياضية وحتى تحديثها، مع الأخذ في الحسبان للمواصفات الكيميائية والفيزيائية.

خلاصة

ثمة الكثير من المشكلات التي تحتاج إلى حل في قطاع زيت الزيتون، إلا أن العوامل الاقتصادية المتداخلة وعوامل البيئة والجودة تبقى هي الاعتبارات ذات الأهمية الرئيسية. ومن تلك العوامل أيضاً العدد الكبير من أصناف الزيتون، وكميات الزيتون الكبيرة التي تُجنى كل عام، والجودة العالية التي يجب أن تتحقق

في زيت الزيتون البكر الفائق النقاء، والحفاظ على خواصه العضوية الدهنية، ومدة القطاف القصيرة، والمفعول البيئي الكبير للفضلات الناتجة... إلخ. وفي ضوء هذه المتطلبات، فإن أحد أهم البدائل المقترحة لحل هذه المشكلات حلاً جيداً يقوم على استعمال الخوارزميات الرياضية. لقد نُفذت الخوارزميات الرياضية (تحليل المكونات الأساسية، والاسترجاع الجزئي ذو الخطأ التربيعي الأصغري، والشبكات العصبونية، والاسترجاع الرياضي... إلخ) حاسوبياً للتحكم في جودة زيت الزيتون البكر الفائق النقاء، ونمذجة العمليات الصناعية والتحكم فيها، وتحديد الكيماويات الخطرة والفضلات التي تحتوي عليها، والتعامل مع التطبيقات القديمة للنواتج الثانوية ذات الصلة بقطاع إنتاج زيت، والبحث عن تطبيقات جديدة.

ومن أجل تحقيق المواصفات الرئيسية، يمكن للمستعمل أن يصل إلى تشكيلة مناسبة من المتوسطات باستعمال الخوارزمية الملائمة. ويجب أن نتذكر أنه تجب إعادة ضبط المتوسطات الرياضية مع الأخذ في الحسبان للاعتبارات الفيزيائية والكيميائية حين اللزوم.

كلمة شكر

يشكر المؤلف وزارة العلوم والابتكار الإسبانية على دعمها المالي (المشروع CTQ2006-04644)، إضافة إلى الدعم الذي تلقاه من مشروع البحث (a Ramón y Cajal) عبر نفس الوزارة.

مراجع

Aragón, J. M. & Palancar, M. C. (2001). IMPROLIVE 2000, present and future of alpeorujo. Madrid: Ed. Complutense S. A.

Baeten, V., Hourant, P., Morales, M. T. & Aparicio, R. (1998). Oil and fat classification by FT-Raman spectroscopy. *Journal of Agricultural Food Chemistry*, 46, 2638-2646.

Banat, F., Al-Asheh, S., Al-Ahmad, R. & Bni-Khalid, F. (2007). Bench-scale and packed bed sorption of methylene blue using treated olive pomace and charcoal. *Bioresource Technology*, 98, 3017-3025.

Bartak; P., Frnkova, P. & Cap, L. (2000). Determination of phenols using

simultaneous steam distillation-extraction. *Journal of Chromatography A*, 867, 281-287.

Beers, K. J. (2007). Numerical methods for chemical engineering. Application in MATLAB. Cambridge, UK: Cambridge University Press.

Bosch, F., Font, G. & Manes, J. (1987). Ultraviolet spectrophotometric determination of phenols in natural and waste-waters with iodine monobromide. *Analyst*, 112, 1335-1337.

Brodnjak-Voncina, D., Kodba, Z. C. & Novic, M. (2005). Multivariate data analysis in classification of vegetable oils characterized by the content of fatty acids. *Chemometrics and Intelligent Laboratory Systems*, 75, 31-43.

Commission Regulation (EC) No 1989/2003 of 6 November 2003 amending Regulation (EEC) No 2568/91 on the characteristics of olive oil and olive-pomace oil and on the relevant methods of analysis.

Demuth, H., Beale, M. & Hagan, M. (2005). MATLAB User's guide, v 4.0: Neural network toolbox. Mass., USA: MathWorks Inc.

Dourtoglou, V. G., Dourtoglou, T., Antonopoulos, A., Stefanou, E., Lalas, S. & Poulos, C. (2003). Detection of olive oil adulteration using principal component analysis Applied on Total and Regio FA Content. *Journal of the American Oil Chemists' Society*, 80, 203-208.

Fine, T. L. (1999). Feedforward neural network methodology. New York: Springer-Verlag.

Food and Agriculture organization of the United Nations. Codex alimentarius commission. Codex Standard for named vegetable oils. CODEX Stan 210, 1999 (revision and amendments: 2003, 2005).

Freire, R. S., Duran, N. & Kubota, L. T. (2002). Development of a laccase-based flow injection electrochemical biosensor for the determination of phenolic compounds and its application for monitoring remediation of Kraft El paper mill effluent. *Analytica Chimica Acta*, 463, 229-238.

Freire, R. S., Thongngamdee, S., Duran, N., Wang, J. & Kubota, L. T. (2002b). Mixed enzyme (laccase/ tyrosinase)-based remote electrochemical biosensor for monitoring phenolic compounds. *Analyst*, *127*, 258-261.

Gomes, S. A. S. S. & Rebelo, M. J. F. (2003). A new laccase biosensor for polyphenols determination. *Sensors*, *3*, 166-175.

Graaff, J. D., Zuazo, V. D., Jones, N. & Fleskens, L. (2008). Olive production systems on sloping land: Prospects and scenarios. *Journal of Environmental Management*, *89*, 129-139.

Gutés, A., Céspedes, F., Alegret, S. & Valle, M. (2005). Determination of phenolic compounds by a polyphenol oxidase amperometric biosensor and artificial neural network analysis. *Biosensors & Bioelectronics*, *20*, 1668-1673.

Haghighi, B., Gorton, L., Ruzgas, T. & Jönsson, L. J. (2003). Characterization of graphite electrodes modified with laccase from *Trametes versicolor* and their use for bioelectrochemical monitoring of phenolic compounds in flow injection analysis. *Analytica Chimica Acta*, *487*, 3-14.

International Olive Council, (2008), www.internationaloliveoil.org.

Isidori, M., Lacorgna, M., Nardelli, A. & Parrella, A. (2005). Model study on the effect of 15 phenolic olive mill wastewater constituents on seed germination and *Vibrio fischeri* metabolism. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, *53*, 8414-8417.

Japón-Luján, R. & Luque de Castro, M. D. (2007). Static-dynamic superheated liquid extraction of hydroxytyrosol and other biophenols from alperujo (a semisolid residue of the olive oil industry). *Journal of Agricultural Food Chemistry*, *55*, 3629-3634.

Kapellakis, I. E., Tsagarakis, K. P. & Crowther, J. C. (2008). Olive oil history, production and by-product management. *Reviews in Environmental Science Biotechnology*, *7*, 1-26.

Kohonen, T. (1987). Self-organization and associative Memory, 2nd Edition, Berlin: Springer-Verlag.

Lee, D. S., Noh, B. S., Bae, S. Y. & Kim, K. (1998). Characterization of fatty acids composition in vegetable oils by gas chromatography and chemometrics. *Analytica Chimica Acta*, 358, 163-175.

Leite, O. D., Lupetti, K. O., Fatibello, O., Vieira, J. C. & Barbosa, A. D. (2003). Synergic effect studies of the bi-enzymatic system laccase-peroxidase in a voltammetric biosensor for catecholamines. *Talanta*, 59, 889-896.

Lloyd, G. R., Brereton, R. G., Faria, R. & Duncan, J. C. (2007). Learning vector quantization for multiclass classification: application to characterization of plastics. *Journal of Chemical Information and Modeling*, 47, 1553-1563.

Marini, F., Balestrieri, F., Bucci, R., Magri, A. D., Magri, A. L. & Marini, D. (2004). Supervised pattern recognition to authenticate Italian extra virgin olive oil varieties. *Chemometrics and Intelligent Laboratory Systems*, 73, 85-93.

Marini, F., Magri, A. L., Bucci, R. & Magri, A. D. (2007). Use of different artificial neural networks to resolve binary blends of monocultivar italian olive oils. *Analytica Chimica Acta*, 599, 232-240.

Martins-Lopes, P., Gomes, S., Santos, E. & Guedes-Pinto, H. (2008). DNA markers for portuguese olive oil fingerprinting. *Journal of Agricultural Food Chemistry*, DOI: 10.1021/jf801146z.

Mildner-Szkudlarz, S. & Jelen, H. H. (2008). The potential of different techniques for volatile compounds analysis coupled with PCA for the detection of the adulteration of olive oil with hazelnut oil. *Food Chemistry*, 110, 751-761.

Montgomery, D. C. & Peck, E. A. (1982). Introduction to linear regression analysis. USA: John Wiley & Sons.

Palancar, M. C., Aragón, J. M. & Torrecilla, J. S. (1998). pH-Control

system based on Artificial Neural Networks. *Industrial Engineering & Chemistry Research*, 37, 2729-2740.

Peña, F., Cárdenas, S., Gallego, M. & Valcárcel, M. (2005). Direct olive oil authentication: Detection of adulteration of olive oil with hazelnut oil by direct coupling of headspace and mass spectrometry, and multivariate regression techniques. *Journal of Chromatography A*, 1074, 215-221.

Roy, J. J., Abraham, T. E., Abhijith, K. S., Sijithkumar, P. V. & Thakur, M. S. (2005). Biosensor for the determination of phenols based on cross-linked enzyme crystals (CLEC) of laccase. *Biosensors & Bioelectronics*, 21, 206-211.

Sayago, A., García-González, D. L., Morales, M. T. & Aparicio, R. (2007). Detection of the presence of refined hazelnut oil in refined olive oil by fluorescence spectroscopy. *Journal of Agricultural Food Chemistry*, 55, 2068-2071.

Sonia, E., Gianfrancesco, M., Roberto, S., Ibanez, R., Agnese, T., Stefania, U. & Maurizio, S. (2009). Monitoring of virgin olive oil volatile compounds evolution during olive malaxation by an array of metal oxide sensors. *Food Chemistry*, 113, 345-350.

Tasioula-Margari, M. & Okogeri, O. (2001). Isolation and characterization of virgin olive oil phenolic compounds by HPLC-UV and GC-MS. *Journal of Food Science*, 66, 530-534.

Timur, S., Pazarlioglu, N., Pilloton, R. & Telefoncu, A. (2004). Thick film sensors based on laccases from different sources immobilized in polyaniline matrix. *Sensors and Actuators B-Chemical*, 97, 132-136.

Torrecilla, J. S. (2001). Aprovechamiento del alpeorujo. *Agricultura, revista agropecuaria*, 832, 734-737.

Torrecilla, J. S. (2001a). Secado del orujo en lecho fluidizado / móvil. *Agricultura, Revista Agropecuaria*, 827, 340-343.

Torrecilla, J. S. (2004). Secado del orujo en lecho fluidizado móvil. Madrid: Ed. Complutense S.A.

Torrecilla, J. S., Aragón, J. M. & Palancar, M. C. (2006). Improvement of fluidized bed dryers for drying olive oil mill solid waste (Olive pomace). *European Journal of Lipid Science and Technology*, 108, 913-924.

Torrecilla, J. S., Aragón, J. M. & Palancar, M. C. (2008). Optimization of an artificial neural network by selecting the training function. Application to solid drying. *Industrial & Engineering Chemistry Research*, 47, 7072-7080.

Torrecilla, J. S., Garcia, J., Rojo, E. & Rodriguez, F. (2009). Estimation of toxicity of ionic liquids in leukemia rat cell line and acetylcholinesterase enzyme by principal component analysis, neural networks and multiple linear regressions. *Journal of Hazardous Materials*, 164, 182-194.

Torrecilla, J. S. (2009). Food processing: methods, techniques and trends. Valerie C. BellingHouse (Editor). New York. Nova Science Publishers, Inc.

Torres; C. F., Toré, A. M., Fornari, T., Señoráns, F. J. & Reglero, G. (2007). Ethanolysis of a waste material from olive oil distillation catalyzed by three different commercial lipases: A kinetic study. *Biochemical Engineering Journal*, 34, 165-171.

Trojanowicz, M., Jagielska, A, Rotkiewicz, P. & Kierzek, A (1999). Flow-injection determination of phenols with tyrosinase amperometric biosensor and data processing by neural network. *Chemia Analityczna*, 44, 865-878.

Vázquez, L., Hurtado-Benavides, A. M., Reglero, G., Fornari, T., Ibáñez, E. & Señoráns, F. J. (2009). Deacidification of olive oil by countercurrent supercritical carbon dioxide extraction: Experimental and thermodynamic modeling. *Journal of Food Engineering*, 90, 463-470.

Vianello, F., Cambria, A, Ragusa, S., Cambria, M. T., Zennaro, L. & Rigo, A (2004). A high sensitivity amperometric biosensor using a monomolecular layer of laccase as biorecognition element. *Biosensors & Bioelectronics*, 20, 315-321.

Vigli, G., Philippidis, A, Spyros, A & Dais, P. (2003). Classification of edible oils by employing ^{31}P and ^1H NMR spectroscopy in combination with multivariate statistical analysis. A proposal for the detection of seed oil adulteration in virgin olive oils. *Journal of Agricultural Food Chemistry*, 51, 5715-5722.

Zhao, L. M. & Lee, H. K. (2001). Determination of phenols in water using liquid phase microextraction with back extraction combined with high-performance liquid chromatography. *Journal of Chromatography A*, 931, 95-105.

الفصل السادس عشر

تحسين التركيب الحيوي لليغنانات في القمح المعدل جينياً^(*)

Allan K. Ayella¹ and Weiqun Wang²

¹Department of Biology, McPherson College, McPherson, KS
67460.

²Department of Human Nutrition, Kansas State University,
Manhattan, KS 66506.

ملخّص

الليغنانات (Lignans) الكيميائية النباتية هي دايمرات (Dimers) مرتبطة معاً بروابط بيتا - بيتا -b (b) ذات بنية 4،1-دياريلبوتان (1,4-diarylbutane). وهي تُركَّب حيويًا في سيتوبلازما الخلية بواسطة فعل إنزيمات مسار الفينيلبروبانويد (Phenylpropanoid Pathway) الذي يُسرَّع فيه لياز أمونيا الفينيلالانين (Phenylalanine Ammonia Lyase) (PAL) الخطوة الأولية من الاستقلاب الثانوي، ويُسرَّع المُرجع لاسيرسينول بينوريسينول (Pinoresinol Laciresinol Reductases) (PLR) الخطوات الأخيرة من التركيب الحيوي لليغنانات. وتوجد الليغنانات بوفرة في بذر الكتان وفي حبوب متنوّعة، منها القمح.

(*) مُوَّل هذا العمل جزئياً من قبل مشاريع وزارة الزراعة الأميركية التعاونية (KS 680-0199184 and KS41 0-02 14022)، ومحطة التجارب الزراعية في جامعة ولاية كانساس (Journal Contribution No. 08-003-B).

وقد بيّنت الدراسات الوبائية والطبية ترابطاً بين استهلاك منتجات الحبوب الكاملة الغنية بالليغنانات، وانخفاض خطر الإصابة بمرض السرطان. وفي النماذج الحيوانية، أُثبت أن الليغنانات تنطوي على أنشطة صادرة للسرطان. وبيّنت دراساتنا السابقة أن محتوى أصناف القمح المختلفة من الليغنانات كانت مقترنة جداً بأنشطة مضادة للأورام في فئران داء السلائل القُولُونِيّ الوَرَمِيّ العُدِّيّ (Adenomatous Polyposis Coli) (APC^{min}). وتغطي هذه المقالة جوانب محدّثة من الليغنانات، مع تأكيد لتحسيناتنا الأخيرة المُدخلة في تركيبها الحيوي في القمح بواسطة الهندسة الجينية، وذلك بالتعبير المفرط عن جينة ال-PLR. وبغية تطوير تعديل فاعل ذي تعبير مستقر، سوف ناقش دراسة مستقبلية تشتمل على التعبير المفرط عن كل من جينات ال-PAL وال-PLR في تحويل المسار.

1- تقديم

نُشر في الآونة الأخيرة عدد من التقارير التي تعرّضت لأهمية تحسين الكيماويات النباتية المهمة صحياً (1-2). إن تناول السليم للكيماويات النباتية قد يساعد على درء الأمراض القلبية الوعائية والسرطان من خلال آليات متنوّعة منها مضادات الأكسدة (Anti-Oxidation)، ومضادات الانتشار (Anti-Proliferation)، وتوقّف دورة الخلية (Cell Cycle Arrest)، ومضادات الإستروجين (Anti-Estrogen)، وتحريض الاستماتة (Apoptosis Induction) ... إلخ وفقاً لما أوردته الدراسات الوبائية والطبية (3-4). ومن أكثر الأمور أهمية في دراستنا هذه الكيماويات النباتية المصنّفة على أنها ليغنانات. والليغنانات الكيماوية النباتية هي دايمرات فينيلبروبان تربط بينها روابط بيتا-بيتا ببنية 1،4-دياريلبوتان. وفي النماذج الحيوانية ودراسات تنمية الخلايا، اتصفت الليغنانات بأنشطة مانعة للسرطان (5). وبيّنت دراستنا السابقة أيضاً أن محتوى أصناف القمح المختلفة من الليغنانات اقترنت على نحو واضح بأنشطة مقاومة للأورام في فئران APC^{min} (6). لذا، ولزيادة مستويات هذه الكيماويات النباتية المهمة صحياً، تبدو التعديلات الجينية للإنزيمات المفتاحية التي تتحكّم في مسار عملية التركيب الحيوي لليغنانات أمراً ضرورياً.

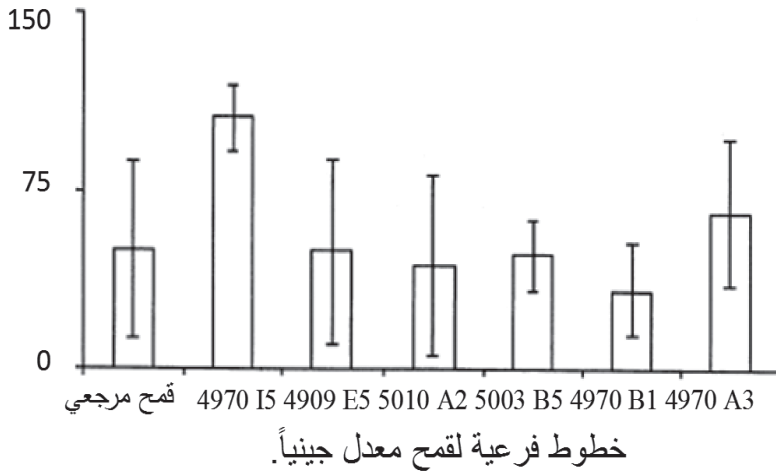
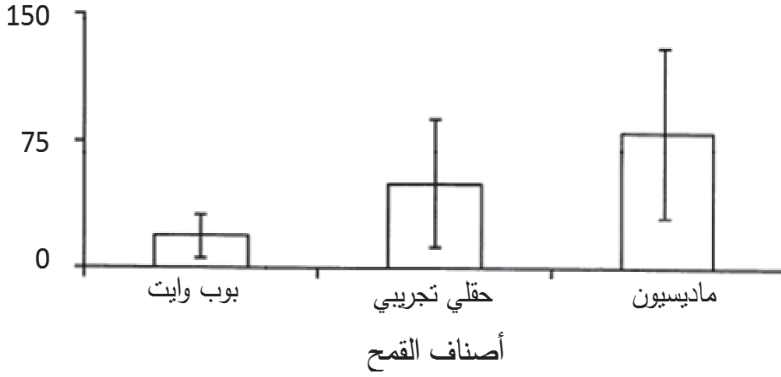
لقد نشر كثير من المؤلفين مقالات تؤيّد التعديل الجيني بوصفه طريقة لتحسين

التركيب الحيوي للكيمياويات النباتية (7-11). وعلى وجه الخصوص، تؤكد جميع الطرائق المنشورة التعبير المفرط لإنزيم مرحلة التشعب (Branch Stage Enzyme) ضمن مسار الفينيلبروبانويد. وتركز بعض الدراسات الاهتمام بإنزيمات مرحلة التشعب الأولية، مثل الـ PAL (12-13)، في حين أن دراسات أخرى تركّز الاهتمام بإنزيمات المرحلة النهائية، مثل الـ PLR (14-15). ومهما كانت الطريقة المتبعة، فقد حصلت تغييرات كبيرة في مستويات الكيمياويات النباتية في خطوط التعديلات الجينية الناتجة. وعلى وجه الخصوص، بيّنت دراسة قمنا بها أن التعديل الجيني بجينة PLR تؤدي إلى مستويات عالية جداً من ديغلوكوسيد سيكوسولاسيريدينول (SDG) (Secoisolariciresinol Diglucoside) في القمح المعدل جينياً (16).

وإضافة إلى تعديل الإنزيمات إفرادياً، حاول بعض المؤلفين أيضاً استعمال تقنية تحويل المسار (Pathway Transformation). إن تحويل المسار هو طريقة متعددة الوجوه وتشتمل على إنزيم أو أكثر ضمن مسار معين. وقد استعمل تحويل المسار فعلاً في مسار الفينيلبروبانويد في النباتات. وحوّل شيجلن وآخرون (Schijlen et al., 2007) جينياً جينات سينتاز الستيلبين (Stilbene Synthase)، وسينتاز الكالكُن (Chalcone Synthase)، ومُرجع الكالكُن (Chalcone Reductase)، وإيزوميراز الكالكُن (Chalcone Isomerase) في نبات الطماطم [البندورة] بهدف زيادة التركيب الحيوي للفلافونويد (Flavonoid) الكيميائي النباتي (17). وعدّل Lorenc-Kukua (et al., 2005) جينات سنتاز الكالكُن وإيزوميراز الكالكُن ومُرجعات ديهيدروفلافون في نبات الكتان من أجل زيادة التركيب الحيوي لمضادات الأكسدة (18). ويستفيد تعديل المسار من حقيقة أن التركيب الحيوي للكيمياويات النباتية يشتمل على خطوات تحكّم مختلفة، ولذا فإن من المرجح أن يؤدي تعديل أكثر من إنزيم واحد ضمن نفس المسار إلى توليد مزيد من المنتجات النهائية المطلوبة. وفي هذه المراجعة، ناقش طريقة محتملة لاستعمال تقنية تعديل مسار لمسار الفينيلبروبانويد في القمح بالتعبير المفرط لكل من جينتي الـ PLR والـ PAL. ونقدّم بعض بياناتنا عن التعامل الجيني مع جينة PLR، ونظر في إمكان استعمال خطوط القمح المعدل جينياً الفرعية تلك مع بنية معدلة جينياً جديدة تحتوي على جينة PAL يتحكّم فيها معزاز عمومي.

2- أدوار جيتي PLR و PAL الإنزيمية في عملية التركيب الحيوي للليغنانات

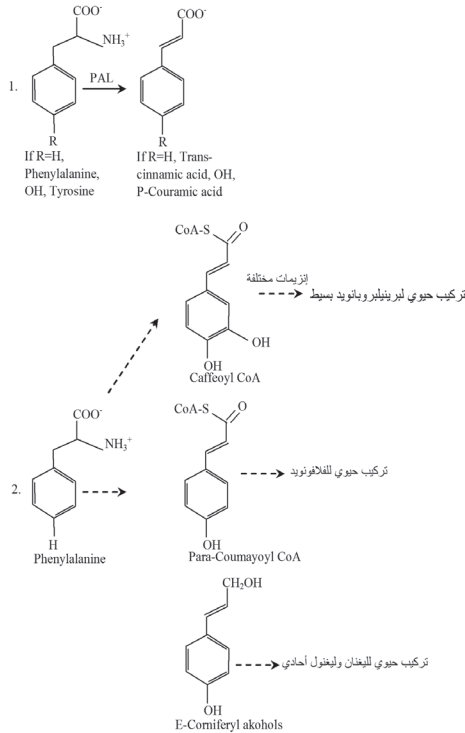
في مقالتنا الأخيرة، نظرنا في الدور الإنزيمي الممكن لجينة PLR في القمح (16). تنتمي تلك الجينة إلى مجموعة من الإنزيمات المصنفة على أنها مختزلات (Reductases) كحولية عطرية مع مختزلات فينيلكوماران (Phenylcoumaran) وإيزوفلافون (19). وتعتبر معظم التفاعلات المسرعة بهذه الفئة من الإنزيمات تفاعلات من المرتبة الأولى عادة. وتُسرع جينة PLR الخطوتين الأخيرتين من التركيب الحيوي للليغنانات من خلال مخاطبة البينوريسينول للاسيريسينول ثم للسيكويسولاسيريسينول. وتتطلب عملية التسريع هذه مكافئات مختزلة من ناحية فوسفات دينوكليتيدين أدينين نيكوتيناميد (Nicotinamide Adenine Dinucleotide Phosphate) (NADPH). ونظراً إلى أن الـ NADPH متوافر نسبياً في النباتات، تبدو وفرة البينوريسينول بمقدار كافٍ مهمة من أجل متابعة تفاعل المرتبة الأولى في الاتجاه الأمامي. لذا يمكن لزيادة الفعالية الإنزيمية للـ PLR أن تعمل على تكوين مزيد من السيكويسولاسيريسينول. وهذا المعنى نكون قد هندسنا جينياً جينة PLR الزيتونة المتوسطة (Forsthyia Intermedia) خلف معزاز بيكوتينين الذرة (Maize Ubiquitin) وحصلنا بعدئذ على قمح معدل جينياً مع تعبير جيني مفرط لنسخ الـ PLR، وفقاً لما جرى قياسه بواسطة تفاعل البوليميراز المتسلسل PCR في الزمن الحقيقي (16). ويبن تحليل مقادير الـ SDG بطريقة قياس الكتلة الطيفي بالكروماتوغرافيا السائلة العالية الأداء (High Performance Liquid Chromatography-Mass Spectrometry) (HPLC-MS) زيادة كبيرة في أحد الخطوط الفرعية للقمح المعدل جينياً مقارنة بقمح مرجعي. ووفقاً لما هو مبين في الشكل 1، تتراوح نسب الـ SDG صعوداً وهبوطاً في أصناف القمح المختلفة، مع قيمة وسطية تساوي $53 \pm 19.8 \mu\text{g/g}$ في قمح الحقل التجريبي. وحوّلنا هذا القمح بواسطة جينة PLR الزيتونة المتوسطة وحصلنا بنجاح على أحد نواتج التحويل وهو I5 4970# الذي احتوى على مستويات من الـ SDG وصلت حتى $117.9 \pm 4.5 \mu\text{g/g}$.



الشكل 1: التحديد الكمي لنسبة الـ SDG في أصناف قمح عادية مقارنة بحبوب قمح معدلة جينياً عند T2 من خطوط فرعية مختلفة. حُدِّدَت نسبة الـ SDG بطريقة HPLC-MS وفقاً لما هو مبين في مقالتنا السابقة (16). الشكل العلوي: نسب الـ SDG في ثلاثة أصناف، منها صنف الحقل التجريبي. الشكل السفلي: نسب الـ SDG في أقحاح معدلة جينية مختلفة عند T2 مقارنة مع قمح حقل تجريبي غير معدل. والنتائج هي القيم الوسطية \pm التشتت المعياري مع $n=3$.

ولياز أمونيا الفينيلالانين PAL (الإنزيم E.C. 4.3.1.5) هو إنزيم يُشارك في الخطوة الأولى من مسار الفينيلبروبانويد. ويُسرِّع الإنزيم PAL نزع الأمين المؤكسد من الفينيلالانين لتكوين حمض سيناميك (Trans-Cinnamic) وأيون أمونيا (20). وإضافة إلى استعمال الفينيلالانين، يمكن لإنزيم PAL أيضاً استعمال تيروسين (L L-tyrosine) ليعطي حمض الكوماريك (p-oumaric p-) (الشكل 2). وقد أثبت أن PAL الذرة

ينطوي على أنشطة كل من الـ PAL ولياز أمونيا التيروسين (21). وتسرع إنزيمات PAL النباتية أيضاً تفاعلات مماثلة (22). وعلى غرار PLR، يُسرّع PAL تفاعلات من المرتبة الأولى. وخلافاً لـ PLR، لا يتطلب PAL أي عوامل مساعدة لتسريعه. إلا أن مقادير الفينيلالانين المتوافرة يمكن أن تعتبر عاملاً محددًا في المفعول الإنزيمي لـ PAL، وذلك لأن الفينيلالانين هو حمض أميني عطري جوهري ثمة حاجة إليه في استقلاب البروتين والكاربوهيدرات والدهون (23). لذا فإن زيادة مستويات الـ PAL سوف تعني تمرير الفينيلالانين إلى مسار الفينيلبروبانويد، وهذا يمكن أن يولد بالوعة استقلابية (Metabolic Sink) (24). يُضاف إلى ذلك أنه عندما يصبح الفينيلالانين في مسار الفينيلبروبانويد، يتفكك إلى منتجات نهائية رئيسية مختلفة، مثل الفلافونويدات والليغنانات وفقاً للمبيّن في الشكل 2. لذا من المرجح أن يكون لاستعمال جينة الـ PAL عواقب شاملة كبيرة على جميع المنتجات الرئيسية لمسار الفينيلبروبانويد.



الشكل 2: مخطط التفاعلات الإنزيمية الأولية المسرّعة بواسطة لياز أمونيا الفينيلالانين LAP. يمكن للمنتجات الرئيسية المتكوّنة أن تتأثر بمشتقات مسار الفينيلبروبانويد منتقاة تبعاً للإنزيمات التالية النشطة المستعملة.

3- التعديلات الجينية السابقة على جينات الـ PAL والـ PLR وعواقبها

يُلخّص الجدول 1 الدراسات الحالية المعروفة للتعديل الجيني لجينتي PAL أو PLR. ويُستعمل في معظم الدراسات إما جينة PAL أو جينة PLR، لكن ليس كلاهما معاً. وقد هندس سوات وآخرون (Sewalt et al., 1997) جينياً كلاً من جينة PAL في البازلاء وإنزيم سينّامات-4-هيدروكسيلاز (Cinnamate-4-Hydroxylase) في نبات تبغ معدل جينياً وبيّنوا وجود زيادة في نسبة الأسلاف الليغنولية الأحادية (Monolignol) اللازمة لتركيب الليغنين (25). وتلك الدراسة فريدة من حيث توليد أنماط ظاهرية مختلفة مع مستويات زائدة ومخمرة من الـ PAL. يُضاف إلى ذلك أن معظم الدراسات الأخرى المدرجة في الجدول 1 أظهرت زيادة في مستويات المنتج المسرّع إما بـ PAL، أي حمض كوماريك-p، أو PLR، أي SDG.

وقد فضل معظم العلميين التحويل بالجرائيم النباتية على القذف بالجسيمات للتعديل الجيني (الجدول 1). وفي الواقع، فإن الدراسة الوحيدة المعروفة التي استعملت القذف بالجسيمات هي دراستنا (16). ومن أجل الدراسات المستقبلية، نقترح استعمال القذف بالجسيمات بسبب الظروف المستمثلة والراسخة فعلاً. وإلى جانب استعمال جينات إفرادية، اهتمت بعض الدراسات باستعمال عوامل نسخ، مثل المعزازات لتحسين التركيب الحيوي لليغنانات في النباتات.

الجدول 1: دراسات منشورة عن تحويلات جينية باستعمال إما PLR أو PAL.

المرجع	المفعول المستهدف	طريقة التحويل	المعزاز	الإنزيم	النبات موضوع الاهتمام
13	زيادة حمض كوماريك-p	جراثيم نباتية	35S	PAL	روديوولا
14	زيادة SDG	جراثيم نباتية؟	داخلي	PLR	كتان

16	زيادة SDG	قذف بالجسيمات	يويبيكويتين الذرة	PLR	قمح
25	زيادة نسبة السيرينيل إلى الغواياسيل	جراثيم نباتية؟	داخلي	& PAL Cinnamate- 4- hydroxylase	تبغ
26	نقصان فاعلية PAL	قذف بالجسيمات؟	35S	PAL	رز
27	زيادة كوبريسيتين	جراثيم نباتية	35S	PAL	تبغ
28	زيادة حمض الكلور العضوي وحمض 4-كوماريك	جراثيم نباتية	PAL البازلاء وسلاسل تحسين 35S	PAL	تبغ

ونحن نخطط لاستعمال معزاز اليويبيكويتين الذي يستهدف تعبير كل من الجينتين PAL و PLR في جميع الأنسجة، في حين أن بعض الدراسات اهتمت باستعمال عناصر طرفية (Cis-Elements) من عوامل النسخ كمعزازات لتحسين التركيب الحيوي لليغنانات في النباتات (29).

ويمكن لتعديل عامل نسخ الجينات الأساسية المشاركة في مسار الفينيلبروبانويد أن تكون طريقة مستقبلية رئيسية لاستعمالها في تحسين الليغنانات في النباتات المعدلة جينياً. وخلافاً للحقن بجينات إفرادية، يمكن لتعديل العناصر الطرفية لعوامل النسخ أن توافر ميزة إضافية من حيث قدرتها على تحسين التركيب الحيوي لليغنانات إضافة إلى جميع عمليات التركيب الحيوي للفينيلبروبانويد (29). إن عائلة بروتينات MYB (Myeloblastosis Protein) الخاصة بعوامل النسخ هي عوامل

النسخ الوحيدة المعروفة اليوم التي تعمل على تحسين التركيب الحيوي لليغنانات في النباتات المعدلة جينياً (30). ونحن سوف نبادر إلى اكتشاف مزيد من العناصر الطرفية لعوامل النسخ المشاركة في هذا المسار في المستقبل القريب.

4- عائلات جينة PAL النباتية وهيكلها التنظيمي

عُزلت جينة PAL ووصِّفت في النباتات المختلفة، وتبيَّن أن ثمة عائلات منها متعددة الجينات تحتوي على 2-40 عضواً (الجدول 2). لذا يمكن أن يعتمد اختيار عضو معين من عائلة جينة PAL، بغية استعماله في تجارب تحسين الليغنانات، على اكتمال سلسلة جينة PAL موضوع الاهتمام، وعلى العلاقة بين النباتات التي تتوافر فيها الجينة بكثرة والمتحكِّم الرئيسي في التركيب الحيوي الاستقلابي الثانوي الموافق لها. وفي حالة تفضيل اختيار أحدها على غيره، يأخذ اكتمال سلسلة الجينة الأفضلية الأولى في العلاقة بين عائلة الجينة والنبات.

الجدول 2: أمثلة نموذجية لتحديد وتوصيف جينة PAL نباتية.

المرجع	عدد الجينات في العائلة المتعددة الجينات	حجم الجينة (زوج قاعدي) ونوعها	النبات
28	غير معروف	1419، دنا	قمح
33	4	ORF، 2130	رز
34	2	ORF 2130 و 2136	بازلاء
35	4	غير مُدرَج	بقدونس
36	2	2400، دنا متمم	بوبولار
37	40	1200، دنا	بطاطا
38	2	2142	فول صويا
39	غير معروف	2175	فصة
40	4	2178-2085	أرابيدوبسيس

وقد وُصِف الهيكل التنظيمي لجينة PAL في الأرابيدوبسيس في الآونة الأخيرة (31). وجرى استنساخ الشظية ذات الـ 3.1 كيلو قاعدة (kb) من جينة أرابيدوبسيس جزئياً من مكتبة جينات (32)، وتبين أنها تتألف من منطقة معزاز ذات 1.8 كيلو قاعدة kb ومنطقة تشفير ذات 0.7 كيلو قاعدة kb. ودلّ حذف منطقة معزاز الطرف 5' المجاور لـ 290- أن هذه المنطقة كانت كافية للسماح لتعبير PAL في جميع الأنسجة، في حين أن مجاور 540- كان متجاوباً مع الضغوط البيئية. وكان للمناطق من 1816- حتى 290- عناصر سالبة وموجبة. إلا أن منطقة التشفير احتوت على إنترون ذي 448 زوج قاعدي مع حدود إجماع AG/GT و AG/AT على غرار الموجودة في جينات PAL أخرى (31). وعزل كوشران وآخرون (Cochrane et al, 2004) أربعة الإيزوفورمات (Isoform) الموجودة في PAL الأرابيدوبسيس وحلل مناطق الأطراف UTR 3' 5' و ORF باستعمال تحليل كلوستال (ClustalW Analysis) (40). ووجد أن ثمة تشابه أنماط 2+2 في إيزوفورمات PAL مع *AtPAL 1 & 2* التي تحتوي على حمض أميني على نحو مشابه لـ *AtPal 3 & 4*. أما المعلومات المتاحة عن جينة PAL القمح فهي محدودة. فقاعدة بيانات جينات الحبوب تحتوي حالياً على 130 تطابقاً تخص واسمات السلاسل التعبيرية المعزولة في جينة PAL القمح (41). وسوف يوفر اختيار واحدة من مستنسخات واسمات السلاسل تلك لاستعمالها في التعديل الجيني لنا مصدراً لجينات الـ PAL. من ناحية أخرى، ثمة جينات PAL ذات توصيف أكثر اكتمالاً وقابلية للتعبير من نباتات أخرى، وفقاً للمبين في الجدول 2.

خلاصة

من الواضح أن ثمة دوراً هاماً لجينتي PAL و PLR في التركيب الحيوي للبيغنانات في القمح. إن تكوين خطوط تعديل جيني للقمح ذات مستويات محسنة من الليغانان، خاصة التركيب الحيوي للـ SDG، يمكن أن يُعزّز الجهود الحالية الرامية إلى تقليص مخاطر أمراض السرطان والأوعية القلبية من خلال تناول أغذية صحية. إلا أن من الواضح أيضاً أنه ما زال ثمة كثير من الأسئلة التي تجب الإجابة عنها. ومن بين الأسئلة المفتاحية ما يتعلق بإمكان التعبير المستقر عن الخطوط الفرعية الحالية للقمح المعدل جينياً، مع مستويات SDG محسنة، في الأجيال اللاحقة. ووفقاً لما ناقشناه في مقالتنا السابقة (16)، من الضروري أن نُميز بين خطوط القمح المعدل بجينة PLR المتماثلة أزواج الجينات، وتلك المتغايرة أزواج الجينات من أجل

تحويلات PAL إضافية. وليس من الواضح تماماً أيضاً عدد نسخ جينات PAL و PLR الداخلية المنشأ التي يمكن أن توجد في القمح. وهل يمكن تعديل مناطق معزازاتها الداخلية من أجل تحسين التركيب الحيوي للليغنانات من خلال تعديل العناصر الطرفية لعوامل النسخ؟ ومع ذلك، يمكن لخط القمح الجديد ذي محتوى الـ SDG الأكبر كثيراً الناتج في دراستنا السابقة أن يوحي بمستقبل واعد من حيث المزايا الصحية ذات القيمة المضافة للحبوب الكاملة التي تتولّد بطرائق التعديل الجيني.

مراجع

[1] De Kok, TM; Van Breda, SG; Manson, MM. Mechanisms of combined action of different chemopreventive dietary compounds: a review. *Eur J Nutr.*, 2008, 47, Suppl. 2, 51-59.

[2] Martinez-Ballesta, CM; Lopez-Perez, L; Hernandez, M; Lopez-Berenguer, C; Fernandez-Garcia, N; Carvajal, M. Agricultural practices for enhanced human health. *Phytochemistry*, 2008, 7, 2, 251-260.

[3] Adlercreutz, H. Phytocstrogens and breast cancer. *J. Steroid Biochem. Mol. Biol.*, 2002, 83,113-118.

[4] Webb, AL; McCullough, ML. Dietary lignans: potential role in cancer prevention. *Nutr. Cancer*, 2005, 51, 117-131.

[5] Weiqun, W; Ayella, A; Jiang, Y; Ouyang, P; Qu, H. Wheat lignans: Promising cancer preventive agents. In *Wheat Antioxidants*, Edited by Liangli Yu, John Wiley and sons, 2008, 264-272.

[6] Qu, H; Madl, RL; Takemoto, DJ; Baybuu, RC; Wang, W. Lignans are involved in the anti-tumor activity of wheat bran in colon cancer SW480 cells. *J. Nutr.*, 2005, 135, 598-602.

[7] Siebert, M; Sonnner, SM; Li, ZW; Severin, K; Hiede, L. Genetic engineering of plant secondary metabolism. Accumulation of 4-hydroxybenzoate glucosides results from the expression of the bacterial *ubiC* gene in tobacco. *Plant Physiol.*, 1996, 112, 811-819.

[8] Seo, JW; Jeong, JH; Shin, CG; Lo, CS; Han, SS; Yu, KW., et al., Overexpression of squalene synthase in *Eleutherococcus senticosus* increases phytosterol and triterpene accumulation, *Phytochemistry*, 2005, 26, 869-877.

[9] Hain, R; Bieseler, B; Kindl, H; Schroder, G; Stocker, G., Expression of a stilbene synthase gene in *Nicotiana tabacum* results in synthesis of the phytoalexin resveratrol. *Plant Mol Biol.*, 1990, 15, 325-335.

[10] Robbins, MP; Morris, P. Metabolic engineering of condensed tannins and other phenolic pathways in forage and fodder crops. In: Verporte, R., and Alfermann, AW (eds) *Metabolic engineering of plant secondary metabolism* (pp. 165-177) Kluwer Academic Press, Dordrecht.

[11] Fettig, S. Hess, Dieter., Expression of a chimeric stilbene synthase gene in transgenic wheat lines. *Transgenic Research*, 1999, 8, 179-189.

[12] Pallas, JA; Paiva, NL; Lamb, C; Dixon, RA Tobacco plants epigenetically suppressed in phenylalanine ammonia-lyase expression do not develop systemic acquired resistance in response to infection by tobacco mosaic virus. *Plant J.*, 1996, 10, 281-293.

[13] Ma, LQ; Gao, DY; Wang, YN; Wang, HH; Zhang, JX; Pang, XB., et al. Effects of overexpression of endogenous phenylalanine ammonia-lyase (PALr I) on accumulation of salidroside in *Rhodiola sachalinensis*. *Plant Biology* (Stuttg), 2008, 10, 323-333.

[14] Hano, C; Martin, I; Fliniaux, O; Legrand, B., et al., Pinoresinol-lariciresinol reductases gene expression and secoisolariciresinol diglucoside accumulation in developing flax (*Linum usitatissimum*) seeds. *Planta*, 2006, 224, 1291-1301.

[15] Hemmati., S; Schmidt, TJ; Fuss, E. (+)-Pinoresinol/(-)-lariciresinol reductase from *Linum perenne* Himmelszelt involved in the biosynthesis of justicidin B. *FEBS Letters*, 2007, 581, 603-610.

[16] Ayella AK; Trick, HN; Wang, W. Enhancing lignan biosynthesis by over-expressing pinoresinol lariciresinol reductase in transgenic wheat. *Mol Nutr. Food Res.*, 2007, 51, 1518-1526.

[17] Schijlen, Ric De Vos, CH; Jonker, H; Van Den Broeck, H; Molthoff, J; Van Tunen, A., et al., Pathway engineering for healthy phytochemicals leading to production of novel flavonoids in tomato fruit. *Plant Biotechnology Journal*, 2006, 4, 433-444.

[18] Lorenc-Kukula, K., Amarowicz, R., Oszmianski, J., Doermann, P.,

Starzycki, M., Skala, J., et al., Pleiotropic effect of phenolic compounds content increases in transgenic flax plant. *J. Agric. Food Chem.*, 2005, 53 (9), 3685-3692.

[19] Min, T; Kasahara, H; Bedgar, DL; Youn, B; Lawrence, PK; Gang, DR., et al., Crystal structures of pinoresinol-lariciresinol and phenylcoumaran benzylic ether reductases and their relationship to isoflavone reductases. *J. Biol.Chem.*, 2003, 278, 50714-50723.

[20] Hahlbrock, K; Scheel, D. Physiology and molecular biology of phenylpropanoid metabolism. *Annu Rev Plant Physiol Plant Mol Biol.*, 40, 347-369.

[21] Rosler, J; Krekel, F; Amrhein, N; Schmid, J. Maize Phenylalanine Ammonia-Lyase activity. *Plant Physiol*, 1997, 113, 175-179.

[22] Jangaard, NO. The characterization of phenylalanine ammonia-lyase from several plant species. *Phytochemistry*, 1974, 13, 1765-1768.

[23] Hahlbrock, K; Scheel, D. Physiology and molecular biology of phenylpropanoid metabolism. *Annu Rev Plant Physiol Plant Mol Biol.*, 1989, 40, 347-369.

[24] Yao, K; De Luca, V; Brisson, N. Creation of a metabolic sink for tryptophan alters the phenylpropanoid pathway and the susceptibility of potato to phytophthora infestans: *The plant cell*, 1995, 7, 1787-1799.

[25] Sewalt, VJH; Ni, W; Blount, JW; Jung, HC; Masoud, SA; Howle, PA; Lamb, C., et al., Reduced lignin content and altered lignin composition in transgenic tobacco down regulated in expression of L-Phenylalanine ammonia-lyase or cinnamate 4-hydroxylase. *Plant Physiol.*, 1997, 115, 41-50

[26] Magiri, NE; Lomo, P; Guo, Z; Debaio, Li. Genetic engineering of rice using antisense strategy suppressed PAL activity 7th Biochemistry Society of Kenya (BSK) conference proceedings, 2002.

[27] Howles, PA; Paiva, NL; Sewalt, VJH; Elkind, NL; Lamb, CJ; Dixon, RA. Overexpression of L-phenylalanine ammonia-lyase in transgenic tobacco plants reveals control points for flux into phenylpropanoid biosynthesis. *Plant Physiol.*, 1996, 112, 1617-1624.

[28] Liao, YC; Li, HP; Kreuzaler, F; Reisener, HJ; Fischer, R.

(Unpublished data) in Gene Bank.

[29] Pattanaik, CH; Xie, CH; Yuan, L. Creation of master transcription factors to regulate plant metabolic pathways. *Acta Hort.*, 2007, 756, 109-118.

[30] Sablowski, RW; Moyano, E; Culianez-Macia, FA; Schuch, W; Martin, C; Bevan, MA flower-specific Myb protein activates transcription of phenylpropanoid biosynthetic genes. *EMBOJ*, 1994, 13, 1, 128-137.

[31] Ohl, S; Hedrick, AS; Chory, J; Lamb, JC. Functional properties of a phenylalanine ammonia-lyase promoter from Arabidopsis. *The plant cell*, 1990, 2, 837-848.

[32] Chang, C; Meyerowitz, EM. Molecular cloning and DNA sequence of the Arabidopsis thaliana alcohol dehydrogenase gene. *Proc. Natl. Acad. Sci.*, USA, 1986, 83, 1408-1412.

[33] Qun, Z; Dabi, T; Beeche, A; Yamamoto, R; Lawton, AM; Lamb, C. Cloning and Properties of a rice gene encoding phenylalanine ammonia-lyase. *Plant. Mol. Biol.*, 1995, 29, 535-550

[34] Cramer, LC; Edwards, K; Dron, M; Liang, X; Dildine, SL; Bolwell, GP., et al., Phenylalanine ammonia lyase gene organization and structure. *Plant Mol. Biol.* 1989, 12, 367-383.

[35] Logemann, E; Parniske, M; Hahlbrock, K. Modes of expression and common structural features the complete phenylalanine ammonia-lyase gene family in parsley. *Proc. Natl. Acad. Sci.*, 1989, 92, 5905-5909.

[36] Subramaniam, R; Reinold, S; Molitor, E; Douglas, CJ. Structure, inheritance and expression of hybrid poplar (*Populus trichocarpa* x *populus deltoids*) phenylalanine ammonia-lyase gene. *Plant Physiol.*, 1993, 102, 71-83.

[37] Joos, HJ; Hahlbrock, K. Phenylalanine ammonia lyase in potato (*Solanum tuberosum* L.) *Eur. J. Biochem.*, 1992, 204, 621-629.

[38] Frank RL; Vodkin LO. Sequence and structure of a phenylalanine ammonia-lyase gene from Glycine max. *DNA Seq.* 1991, 5, 335-346.

[39] Gowri, G., Paiva, NL; Dixon, RA. Stress responses in alfalfa (*Medicago sativa* L.) 12. Sequence analysis of phenylalanine ammonia-

lyase (PAL) cDNA clones and appearance of PAL transcripts in elicitor-treated cell cultures and developing plants. *Plant Mol Biol.*, 1991, 17, 3, 415-429.

[40] Cochrane, CF; Davin, BL; Lewis, N. The Arabidopsis phenylalanine ammonia lyase gene family: kinetic characterization of the four PAL isoforms. *Phytochemistry*, 65, 1557-1564.

[41] <http://wheat.pw.usda.gov/wEST/>

الثبت التعريفي

آفة البطاطا المتأخرة (Late Blight of Potato): مرض يصيب البطاطا ويتسبب به فطر عفونة البطاطا (Phytophthora infestans).

آفة رأس المغزلاوية (Fusarium Head Blight): مرض فطري يصيب الحبوب الصغيرة التي من مثل القمح والشعير والذرة، وبعض أنواع العشب.

أجرعية (Agrobacterium): جرثومة نباتية موجبة الغرام وتسبب أورام النبات. أحادي النسيلة (Monoclonal): مُتَّج أو مكوّن من خلية واحدة.

إدارة المغذيات (Nutrient management): الطريقة التي يتبعها المزارعون لإدارة مقادير المغذيات التي يقدمونها للنبات وأنواعها وأماكن توضعها وتوقيتها... إلخ.

إدارة كمية (Quantitative Management): الإدارة التي تعتمد كثيراً على النماذج الرياضية.

أرابيدوبسيس (Arabidopsis): نبتة طفيلية ذات أزهار بيضاء أو صفراء أو بنفسجية.

أرغوناوت 1 (Argonaute 1): جينة على الكروموزوم الذي يشفر بروتينا ضروريا لإسكات جينة بوساطة الرنا.

إزالة الميثلة (Demethylation): إزالة مجموعة ميثيل من جزيء.

استخراج مستمر للزيت (Continuous Oil Extraction): عملية استخراج للزيت بدون توقف لتقليل تعرّضه إلى الأوكسجين والضوء.

استرجاع (Regression): طريقة إحصائية للمواءمة بين مجموعة قيم تجريبية وخط بياني يمكن أن يمثلها أفضل تمثيل، بمعنى جعل المسافات الفاصلة بين النقاط والخط البياني أصغرية وفقاً لمعيار ما.

إسكات جيني (Gene Silencing): مصطلح يعني إيقاف الجينة عن النشاط بطريقة غير التعديل الجيني.

أليل (Allele): صيغة من صيغتين أو أكثر لجينة طافرة، وتوجد في نفس الموقع على الكروموسوم.

انجبال جيني (Introgression): انتقال المعلومات الجينية من جنس إلى آخر نتيجة للتتهجين والتزاوج المستمر بينهما.

أوكسين (Auxin): هرمون نباتي يسبب استطالة الخلايا في البراعم ويسهم في تنظيم نمو النبات.

اتئلاف كيميائي (Chemical Affinity): ميل الأجناس الكيميائية المختلفة (غير المتماثلة) إلى الارتباط من خلال التفاعل الكيميائي والاتحاد معاً، وتكوين مركبات كيميائية.

بارض (Meristem): نسيج يوجد في أماكن النمو في معظم النباتات حيث تنبثق أعضاء النبات المختلفة وتنمو.

بالوعة استقلابية (Metabolic Sink): أيُّ عملية في الجسم الحي تحتاج إلى طاقة لكي تحصل.

بروتين أيون معدني (Metalloprotein): مصطلح جيني للدلالة على البروتين الذي يحتوي على أيون معدني.

بروتين التألُّق الأخضر (Green Fluorescent Protein): بروتين يتألف من 238 راسب حمض أميني ويتألُّق بلون أخضر حين تعرّضه إلى ضوء في المجال الممتد من الأزرق حتى ما فوق البنفسجي.

بطاء/ تلكؤ (Hysteresis): ظاهرة تأخر تغيير خاصية فيزيائية بعد تغيير مسببها.
بقعة ليزرية (Laser Speckle): بقعة من الكثافة الضوئية تنجم عن تداخل موجات ضوء الليزر.

بيثيوم (Pythium): فطر يتطفل على الجذور ويؤدي إلى ذبول النبات.
بيروكسيد (Peroxide): مركب يحتوي على رابط أكسجين-أكسجين مفرد O-O، وتسمى هذه المجموعة مجموعة البريوكسيد. انظر رقم البيروكسيد.

تابع التفعيل (Activation Function): التابع الذي يُعرّف خرج العقدة في شبكة عصبونية صناعية بدلالة متغيرات دخلها. وتابع التفعيل السيغمويدي (sigmoid) هو تابع من الشكل $S(x) = 1 / (1 + \exp(-x))$ ذي الشكل S.

تابع التقاطع (Incidence Function): تابع يُعطي إحداثيتين لكل ذروة من منحن.

تخميم (Downregulation): العملية التي تُنقص بها الخلية مقدار المكوّنات الخلوية التي من مثل الرنا أو البروتين، استجابة لمعرض خارجي.

تحليل توافق (Combinatorics): دراسة المعدودات، أي البنى المحدودة القابلة للعد.

تحليل الحساسية (Sensitivity Analysis): تقنية تُستعمل لتحديد كيفية تأثير متغيرٍ مستقل في متغيرٍ تابع له ضمن شروط معينة.

تحليل المكوّنات الأساسية (Principal Component Analysis): إجرائية رياضية تستعمل التحويل المتعامد لتحويل مجموعة من القيم المقاسة لمتغيرات يمكن أن تكون مترابطة إلى مجموعة قيم مستقلة خطياً تسمى المكوّنات الأساسية.

تعبير جيني (Gene Expression): التجليّ بمظهر خارجي يخص جينة معينة.

تعبيري (Sense): الشريط التعبيري، أو التشفيري (الترميزي)، هو مقطع من دنا ذي طاقين يمتد من النهاية 5' إلى النهاية 3' المتممة لشريط الدنا المضاد للتعبير الممتد من النهاية 3' إلى النهاية 5'.

تعدد شكلي (Polymorphisms): وجود نمطين ظاهريين أو أكثر ضمن نفس مجموعة أفراد الجنس.

تعدي (Transitivity): الخاصية التي تنطوي على أنه إذا وُجِدَت علاقة ما بين العنصر A والعنصر B، وبين العنصر B والعنصر C، فإنها تكون موجودة أيضاً بين العنصر A والعنصر C.

تكافؤ أساسي (Substantial Equivalence): مفهوم استعملته منظمة التعاون والتطوير الاقتصادي (Organization for Economic Cooperation and Development) (OECD) في عام 1993 للتعبير عن أن المحصول المعدل جينياً يجب أن يكون آمناً كسلفه غير المعدل.

تماثل أزواج الجينات (Zygoty): درجة تشابه أليلات متعضّ ما بالسّمات.

تَنسور (Tensor): كينونة رياضية تشبه الشعاع لكنها أكثر عمومية منه وتمثّل بمصفوفة من العناصر التابعة للإحداثيات في الفضاء.

حراثة محافظة (Conservation Tillage): حراثة لا تُقلب فيها التربة وتترك مقداراً من بقايا المحصول في التربة لحمايتها.

حمض الأوليك (Oleic Acid): حمض دهني غير مشبع يوجد في كثير من الدهون والصابون.

حمض ليبوي (Lipoic Acid): مركب متبلور ضروري لأكسدة بعض الحموض في الاستقلاب، وهو عامل مساعد على نمو الجراثيم.

جمل جيني (Genetic Load): وجود مادة جينية غير مرغوب فيها ضمن مجموعة الجينات.

خوارزمية جينية (Genetic Algorithm) (GA): إجرائية بحث تجريبية تحاكي الاصطفاء الطبيعي من حيث إدخال «طفرات» محددة في قيم تابع ما، واختبار مدى تحقيقه حيثذ لمعيار ما. فإذا كانت الطفرة جيدة، احتُفظ بالحل وأُدخلت فيه طفرة جديدة، وإلا أُهمل. وتتكرر العملية حتى تحقيق المعيار.

خوارزمية محاكاة التقيسية (Simulated Annealing) (SA): إجرائية تجريبية

احتمالية عامة لإيجاد حل تقريبي لمسألة مستحيلة الاستمثال عملياً. واسمها مشتق من عملية التقسية بالتسخين والتبريد.

رقم البيروكسيد (**Peroxide Number**): مقدار أوكسجين البيروكسيد الموجود في كيلو غرام واحد من الدهن أو الزيت، ويُقدَّر بـ meq O₂/kg.

رؤية آلية (**Machine Vision**): تقنية لمعاينة الأشياء والتعامل معها حاسوبياً باستعمال كمرّة تصوير وبرمجيات لمعالجة الصورة.

ريزوكتونيا سولاني (**Rhizoctonia Solani**): فطر مُمرض لطيف واسع من النباتات، ومنتشر في جميع أنحاء العالم.

زاوية الاستقرار (**Angle of Repose**): أكبر زاوية ميل لحامل تبقى عندها المادة شبه الصلبة (أو شبه السائلة) الموجودة على الحامل مستقرة.

زراعة بيئية حيوية (**Ecological Agriculture**): طريقة للزراعة تضمن الربح مع الحفاظ على البيئة. وتسمى أيضاً بالزراعة المستدامة.

زيت زيتون بكر (**Virgin Olive Oil**) (**VOO**): هو أول زيت يُستخرج من الزيتون على البارد، وتقع نسبة الحمض فيه بين 1 و 3%.

زيت زيتون بكر فائق النقاء (**Extra Virgin Olive Oil**) (**EVOO**): هو أول زيت يُستخرج من الزيتون على البارد، ولا تزيد نسبة الحمض فيه على 1%. وهو أجود أنواع زيت الزيتون وأغلاها ثمناً.

سمات مُخرجة (**Output Traits**): السمات الناتجة في النبات المعدل جينياً والمفيدة للمستهلك من حيث تحسين جودة الغذاء وتقليل نسبة الدهون وزيادة مستوى مضادات الأكسدة، على سبيل المثال.

سمات مُدخلة (**Input Traits**): سمات تُدخّل في النبات بهدف تخفيض تكاليف إنتاجه وتحسين مواصفاته الحقلية من حيث مقاومة مضادات الحشرات وغيرها، على سبيل المثال.

شبكة بترى (**Petri Network**): طريقة نمذجة رياضية لوصف المنظومات الموزعة. وهي مخطط اثنائي موجه تمثّل فيه العقد انتقالات (أي أحداثاً)، والمواقع شروطاً.

شبكة عصبونية صناعية (Artificial Neural Network): منظومة حاسوبية تتخذ من دماغ الإنسان وشبكتة العصبية نموذجاً لها.

طاقة مضمّنة (Emergy): مجموع كل الطاقات اللازمة لتوليد أي سلعة أو خدمات، ويُنظر إليها وكأنها متضمنة في المنتج نفسه.

عدد نسخ الجينة (Gene Copy Number): عدد نسخ جينة معينة في التركيب الجيني للفرد.

عصبون (Neuron): خلية عصبية متخصصة بإرسال نبضات الإشارات العصبية.

عصوية ثورنجية (BT) (Bacillus Thuringiensis): جرثومة تربة موجبة الغرام، وتُستعمل عادة مبيدة حيوية للحشرات، أو يُستخرج منها ذيفان لاستعماله مبيداً للحشرات.

عفن (Mildew): مادة سطحية بيضاء تتألف من خيوط تتكوّن على النباتات الحية والمواد العضوية التي من قبيل الطعام والورق والجلد.

عفن بني (Monilinia Fusicola): مرض فطري يصيب الفواكه ذات النوى بالعفن البني.

عفن ذروري (Powdery Mildew): مرض فطري يصيب طيفاً واسعاً من النباتات، وينجم عن أجناس كثيرة من الفطور. سهل الكشف بسبب أعراضه المميزة، ويظهر على أوراق النبات وسوقها على شكل بقع ذرورية.

عفن الصُّليبياء (Sclerotinia Sclerotiorum): فطر مُمرض للنبات يولّد عفناً أبيض إذا كانت الظروف ملائمة.

عفن العنب (Botrytis Cinerea): فطر يقتل مضيفه ويتغذى عليه، ويصيب كثيراً من النباتات، خاصة العنب. ويُعرف أيضاً بالعفن الرمادي.

فطر الآفة النارية (Erwinia Amylovora): فطر يصيب التفاح والإجاص وبعض الفواكه الأخرى.

فطر أوراق الفستق السوداني (Cercospora Arachidicola): مرض فطري

يتجلى على شكل بقع تظهر أولاً على السطح العلوي من الأوراق المنخفضة على شكل نقاط بنية إلى سوداء.

فطر التبّع (*Venturia Inaequalis*): فطر يسبب جرب التفاح.

فطر الحرشفية المعنقدة (*Botrytis Squamosa*): مرض فطري يصيب أوراق البصل.

فطر خبز الغراب الأصفر (*Xanthomonas Campestris*): نخر جرثومي يصيب النباتات.

فطر عفونة البطاطا (*Phytophthora Infestans*): فطر بيضي يسبب آفة البطاطا المتأخرة.

فطر المغزلاوية (*Fusarium*): طائفة كبيرة من الفطور ذات السياط، وهي تتوزع على نطاق واسع في التربة والنباتات. ومعظم أنواعها غير ضارة، إلا أن بعضها يمكن أن يُنتج سموماً فطرية تؤذي الإنسان والحيوان.

فطر نخري (*Anthracoze*): مرض فطري يصيب كثيراً من النباتات، منها الخضراوات والفواكه والأشجار.

فطريات بيضية (*Oomycetes*): سلالة مُمرضة مميّزة من المتعضيات المكروية ذات السياط الشبيهة بالفطر.

قرينة المخروط (*Cone Index*): القوة المطبقة على وحدة مساحة قاعدة المخروط واللازمة لدفعه مسافة معينة في التربة.

قياس التيار الكهربائي الكيميائي (*Amperometry*): في الكيمياء والكيمياء الحيوية، هو كشف الأيونات في المحلول اعتماداً على قياس التيار الكهربائي أو تغيراته.

قياس لوني (*Colorimetry*): تقنية تُستعمل في الكيمياء الفيزيائية والتحليلية لتحديد تراكيز المركبات الملونة في محلول، وذلك بقياس أطياها.

قيد الأسبقية (*Precedence Constraint*): خاصية تنطوي على أنه لا يمكن لعمل لاحق أن يبدأ قبل انتهاء العمل السابق.

كاشف فولين تشوكالتاو (Folin Ciocalteu): مزيج من الفوسفوموليبيدات والفوسفوتنغستات، ويُستعمل للتحليل اللوني خارج الجسم الحي لمضادات الأكسدة الفينولية والمتعددة الفينولات.

كثافة حجمية (Bulk density): واحدة من خواص المساحيق والمواد الحبيبية، تعرّف بأنها كتلة مجموعة كبيرة من جسيمات المادة مقسومة على الحجم الذي تحتله. ويتضمن الحجم الكلي حجوم الجسيمات والفراغات فيما بينها والمسافات التي تحتوي عليها.

كيميرا (Chimera): متعضّ مختلط الجينات

لاجيني (Epigenetic): صفة تنجم عن مفعول غير جيني في التعبير الجيني.

لصيقة تعريف بالترددات الراديوية (Radio-frequency Identification (RFID): لصيقة مصنوعة من مواد نصف ناقلة تتأثر بالأشعة الكهر مغنطيسية التي تسقط عليها، فتصدر إشارة جوابية تحمل رمزاً تعريفياً معيناً.

ليبوأوكسيجناز (Lipoxygenase) (LOX): إنزيم قابل للتبلور يُسرّع أكسدة الحموض الدهنية غير المشبعة أو الدهون غير المشبعة، ويظهر في فول الصويا والحبوب على وجه الخصوص.

ليغان (Lignan): مركبات كيميائية توجد في النبات تشابه الإستروجين وتعمل مضادات أكسدة.

مأشوب (Recombinant): صفة مادة جينية أُعيد ترتيبها بتعابر الكروموزومات أو بارتباط مقاطع دنا من متعضيات مختلفة معاً.

مخلبية نباتية (Phytochelant): أوليمرات من الغلوتاثيون توجد في النباتات والفطور وجميع أنواع الطحالب، وتعمل عمل المخالب. وهي هامة لإزالة سمية المعادن الثقيلة.

مدخّن (مطهر دخاني) (Fumigant): مركّب كيميائي طيار أو قابل للتطاير يُستعمل واقياً من العدوى أو مبيداً للحشرات.

مذنبه الأبواغ البقدونسية (Cercospora): فطر مُمرض للنبات ويترك بقعاً على أوراقه.

مشوب (Spiked): أُضيفت إليه مادة أخرى.

مضاد الأوكسين (Anti-Auxins): مادة تُبطل وظيفة الأوكسين المنظمة لنمو النبات.

مضاد للتعبير (Antisense): تتصف الكينونة المضادة للتعبير باحتوائها على سلسلة من النيوكليوتيدات المتممة لسلسلة شفرة، ومن ثمَّ قادرة على الارتباط بها. ويمكن لسلسلة الشفرة تلك أن تخص لولب شريط دنا مضاعف يخضع لعملية نسخ، أو جزيء رنا مرسال.

معامل الاختلاف (Coefficient of Variation): معيار إحصائي لتشتت قيم البيانات حول القيمة الوسطى.

معزاز تكويني (Constitutive Promoter): هو المعزاز النشط في جميع أحداث الخلية، ويقابله المعزاز المقيد الذي يصبح نشطاً استجابة لمعرض معين.

مفعول دوبلر (Doppler Effect): ازدياد تردد الصوت أو الضوء (أو انخفاضه) مع اقتراب (أو ابتعاد) مصدره عن الراصد. ويُلاحظ هذا المفعول بوضوح حينما تتجاوزك سيارة إسعاف.

ميتام الصوديوم (Metam Sodium): مطهر تربة بالتدخين يُستعمل مبيداً للحشرات والفتور والأعشاب الطفيلية.

مَيْثَلَة (Methylation): إضافة مجموعة ميثيل إلى ركيزة، أو وضع مجموعة ميثيل في مكان ذرة أو مجموعة.

نافذة الرؤية المخروطية (View Frustum): في البيانات الحاسوبية الثلاثية الأبعاد، هي هرم الرؤية من خلال عدسة الكاميرا.

ناقلية مائية (Hydraulic Conductivity): هي الخاصية التي تنقل بها النباتات أو الأجسام المسامية الماء.

نخر (Necrosis): موت معظم أو جميع خلايا المتعضي أو النسيج بسبب المرض أو الإصابة بالجروح أو نقص الإمداد بالدم.

نمط جيني (Genotype): التركيب الجيني للمتعضي.

نمط ظاهري (Phenotype): المجموعة المرئية من الخواص الناجمة من التأثير المتبادل بين النمط الجيني والبيئة.

نوباء (Alternaria): فطر يصيب النباتات ويسبب حساسية للبشر تؤدي أحياناً إلى الربو.

هالوجين (Halogen): أحد العناصر الخمسة الآتية: الفلور، الكلور، البروم، الأيوجين، الأستاتين، وهي عناصر توجد عادة في حالتها الطبيعية على شكل جزيئات ثنائية الذرات.

هجرة جينية (Gene Flow): انتقال جينات من أجناس إلى أجناس مختلفة أخرى.

هلجنة (Halogenation): المعالجة بالهالوجينات.

ثبت المصطلحات

Late Blight of Potato	آفة البطاطا المتأخرة
Fusarium Head Blight	آفة رأس المغزلاوية
Agrobacterium	أجرعية
Monoclonal	أحادي النسيلة
Nutrient Management	إدارة المغذيات
Quantitative Management	إدارة كمية
Arabidopsis	أرابيدوبسيس
Argonaute 1	أرغوناوت 1
Demethylation	إزالة الميثيلة
Continuous Oil Extraction	استخراج مستمر للزيت
Regression	استرجاع

Gene Silencing	إسكات جيني
Allele	أليل
Introgression	انجبال جيني
Auxin	أوكسين
Chemical Affinity	اتتلاف كيميائي
Meristem	بارض
Metabolic Sink	بالوعة استقلابية
Metalloproteid	بروتين أيون معدني
Green Fluorescent Protein	بروتين التألُّق الأخضر
hysteresis	بطاء/ تلكؤ
Laser Speckle	بقعة ليزرية
Pythium	بيثيوم
Peroxide	بيروكسيد
Activation Function	تابع التنفيل
Incidence Function	تابع التقاطع
Downregulation	تحجيم

Combinatorics	تحليل توافقى
Sensitivity Analysis	تحليل الحساسية
Principal Component Analysis	تحليل المكونات الأساسية
Gene Expression	تعبير جيني
Polymorphisms	تعدد شكلي
Transitivity	تعدّد
Substantial Equivalence	تكافؤ أساسي
Zygoty	تماثل أزواج الجينات
Tensor	تنسور
Conservation Tillage	حرارة محافظة
Oleic Acid	حمض الأوليك
Lipoic Acid	حمض ليبوي
Genetic Load	حمل جيني
Genetic Algorithm GA	خوارزمية جينية
Simulated Annealing SA	خوارزمية محاكاة التقيسة
Peroxide Number	رقم البيروكسيد

Machine Vision	رؤية آلية
Rhizoctonia Solani	ريزوكتونيا سولاني
Angle of Repose	زاوية الاستقرار
Ecological Agriculture	زراعة بيئية حيوية
Virgin Olive Oil VOO	زيت زيتون بكر
Extra Virgin Olive Oil EVOO	زيت زيتون بكر فائق النقاء
Output Traits	سمات مُخرجة
Input Traits	سمات مُدخلة
Petri Network	شبكة بيري
Artificial Neural Network	شبكة عصبونية صناعية
Emergy	طاقة مضمّنة
Gene Copy Number	عدد نسخ الجينة
Neuron	عصبون
Bacillus Thuringiensis BT	عصوية ثورنجية
Mildew	عفن
Monilinia Fusicola	عفن بني

Sclerotinia Sclerotiorum	عفن الصُّليبياء
Powdery Mildew	عفن ذُروري
Botrytis Cinerea	عفن العنب
Erwinia Amylovora	فطر الآفة النارية
Cercospora Arachidicola	فطر أوراق الفستق السوداني
Venturia Inaequalis	فطر التبَّع
Botrytis Squamosa	فطر الحرشفية المعنقدة
Xanthomonas Campestris	فطر خبز الغراب الأصفر
Phytophthora Infestans	فطر عفونة البطاطا
Fusarium	فطر المغزلاوية
Anthracnose	فطر نخري
Oomycetes	فطريات بيضية
Cone Index	قرينة المخروط
Amperometry	قياس التيار الكهربائي الكيميائي
Colorimetry	قياس لوني
Precedence Constraint	قيد الأسبقية

Folin Ciocalteu	كاشف فولين تشوكالتاوا
Bulk Density	كثافة حجمية
Chimera	كيميرا
Epigenetic	لاجيني
Radio-frequency Identification RFID	لصيقة تعريف بالترددات الراديوية
Lipoxygenase LOX	ليبوأوكسيجناز
Lignan	ليغنان
Recombinant	مأشوب
Phytochelant	مخلبية نباتية
Fumigant	مدخن مطهر دخاني
Cercospora	مذنبة الأبواغ البقدونسية
Spiked	مشوب
Anti-Auxins	مضاد الأوكسين
Antisense	مضاد للتعبير
Coefficient of Variation	معامل الاختلاف
Constitutive Promoter	معزاز تكويني

Doppler Effect	مفعول دوبلر
Metam Sodium	ميتام الصوديوم
Methylation	مَيْثَلَة
View Frustum	نافذة الرؤية المخروطية
Hydraulic Conductivity	ناقلية مائية
Necrosis	نخر
Genotype	نمط جيني
Phenotype	نمط ظاهري
Alternaria	نوباء
Halogen	هالوجين
Gene Flow	هجرة جينية
Halogenation	هلجنة

الفهرس

استقلابية: 528	-أ-
إسكات جيني: 386	أدمز، ر: 295، 296
أسمدة صلبة: 282، 283، 285، 286، 298	آفة البطاطا: 231، 429، 431، 435، 436، 437، 438، 440، 443، 444
أسمدة عضوية: 11، 14، 267، 268، 269، 270، 271، 272، 273، 274، 275، 276، 279، 280، 282، 283، 284، 285، 286، 287، 288، 289، 290، 292، 293، 305، 309، 312، 563، 566، 654	448، 447، 446، 445 آفة رأس المغزلاوية: 434 آيس سامبلر: 226 إجراءات تقريبية مساعدة: 142 أجيال هجينة: 404
أسمدة عضوية مخمرة: 548، 549، 551، 566، 568	أحادي النسيلة: 604، 609، 623 احتباس حراري: 430، 439
أسمدة معدنية: 287، 566 إصلاح اقتصادي: 649	إدارة الأعمال الزراعية: 5، 9، 141، 143، 144، 215
أعلاف معدلة جينياً: 500، 503، 510، 511	استدامة الإنتاج: 144 استدلال بايزياني: 487
أغوستينو، فيني: 240 اقتصاد ريفي: 434	استشراق الطقس: 428، 430، 431، 432، 444، 446، 448

إنغليش، لايت: 520	ألبرخ، كارين: 235
أوكا، شين إيشيرو: 585	ألكسندر، تريفور: 512، 515، 521
أون، أدريان: 291	إليس، إدوارد: 236
إيزانت، جوناثان: 577	أمان صحي: 502
إيغاثنتان، كاناين: 220	أمراض فطرية: 364
إينسبانير، رالف: 512	أمراض المحاصيل: 6، 9، 17، 427، 430، 431، 432، 444
-ب-	أمن غذائي: 450، 451، 495
بابلو، ميريم: 471	إنتاج: 9، 11، 12، 16، 20، 21، 22، 23، 25، 26، 27، 28، 29، 30، 33، 37، 37، 67، 68، 70، 71، 141، 143، 144، 146، 155، 165، 167، 168، 169، 171، 182، 184، 192، 201، 205، 207، 216، 218، 225، 234، 237، 241، 242، 244، 247، 248، 269، 271، 286، 322، 376، 377، 378، 379، 381، 392، 393، 395، 398، 400، 406، 407، 432، 443، 444، 439، 437، 436، 441، 442، 445، 497، 476، 473، 450، 442، 498، 502، 512، 524، 532، 534، 548، 549، 550، 552، 556، 561، 568، 579، 580، 583، 584، 585، 587، 588، 589، 590، 591، 603، 604، 606، 607، 609، 612، 624، 636، 637، 638، 640، 648، 649، 653، 654، 662، 664
بالتو، ميريم: 471	
باري، ت: 333	
بايكر، كاتلين: 436، 446	
بيري، سيزار: 384	
بتز، فردريك: 520	
بحث علمي: 7	
بذور معدلة جينياً: 400	
براغا، روبرتو: 471، 472	
برامج آلية التواصل للبوابة العامة (CGI): و 158، 161، 169	
برّتل، رولان: 250	
برغ، ف. فان دن: 330	
برمجيات أيرو (AERO): و 221	
برمجيات زراعية: 215، 256	
برنامج إدارة مكافحة الحشرات المتكاملة: 451	

- بروتينات علاجية: 11، 22، 603، 604،
607، 612، 624
- بروتين التآلق الأخضر: 6، 9، 11، 17،
375، 376، 381، 382، 383، 384،
386، 387، 390، 391، 393، 394،
395، 397، 399، 401، 402، 403،
405، 406، 407، 408، 409، 577،
584، 585، 587
- بروتين مأشوب: 382، 385، 394،
607، 611، 613، 624
- بروتين معدل جينياً: 512، 520، 521
- بروديناك فونسينا، دارينكا: 660
- بَزَّاي، غيدو ماريا: 234
- بزوغلوف، أنتون: 232
- بقع الليزر: 19، 464، 465، 466، 467،
470، 471، 472، 473، 478
- بقع الليزر المتغيرة: 473
- بِكَمَسْتَر، دينيس: 243
- بُلايل، بَث: 451
- بِل، جيرمي: 451
- بلساري، باولو: 297
- بلنسكي، جيرزي: 302
- بوابة البيئات المترابطة للاستكشاف
الجوي: 448
- بودان، لوران: 249
- بيالوبرزوسكي، إيرينوزس: 251
- بيديباتي، راجش: 252
- بير، فلورانس لو: 241
- بيزانغ، م: 302
- بيزي، ف: 297
- بيكو، د: 305
- ت-
- التاريخ الزمني لأنماط البقع (THSP):
468
- تبادل جيني: 154
- تجارة عالمية: 143
- تجارة الموز العالمية: 6، 10، 23، 635،
636، 637، 638، 640، 643، 646،
647، 648
- تجهيزات النشر: 274، 302، 303،
304، 312
- تحليل الصورة: 18، 19، 254، 464،
473، 478، 479، 480، 486، 488،
489، 492
- تحليل فورييه: 254
- تحليل كلوستال: 680
- تحويل جيني: 375
- تربة سِتندورف: 553، 554، 556،
558، 559، 560، 561، 562، 563

تغير المناخ: 444، 438، 250	565، 564
تفاعل البوليمراز المتسلسل: 396	ترشيح الأجسام: 488
تقنية تحويل المسار: 673، 672، 24	تركورن، فلكس: 451
تقنية مؤارٍيه: 473، 474، 475، 476، 478	تركيبة تبادل البيانات (GIF): 482
تقييم الملاءمة: 154	تركيبة مجموعة خبراء التصوير المشتركة (JPEG): و 482، 484
تكافؤ أساسي: 502، 501	تركيبة ملف الصورة المعلم (TIFF): 482
التكافؤ الغذائي: 502	تركيب ضوئي: 356
التكافؤ الكيميائي: 502	ترموديناميك: 114
تكسيبي، فيليب: 244	تريون، فرانسوا: 305، 286، 271
تكنولوجيا النبات الحيوية التطبيقية: 575	تسييه، س: 277
تليش، ألبرتو: 255	تشفير جيني: 577
تمائل أزواج الجينات: 392، 399، 404، 680	تشنكويو، أديون: 290
تناكا، فوميهيكو: 243	تصميم الرؤية الآلية (MV): 30
تتنفس نباتي: 356	تعبير جيني: 674، 578، 381
تنمية اقتصادية: 636	تعبير فائق للجينات: 550
تنميهاريو، شيري: 528	تعديل جيني: 17، 376، 378، 381، 382، 385، 392، 396، 397، 399، 400، 402، 403، 404، 405، 406، 407، 408، 508، 511، 512، 514، 520، 522، 528، 530، 576، 577، 582، 583، 586، 588، 589، 590، 592، 591، 590، 406، 405
تهجين: 377، 400، 401، 402، 404	-ث-
ثورة الصين الثقافية (1966): 649	ثورة الصين الثقافية (1966): 649

207، 203، 202، 201
 خوارزمية لِفمبرغ - ماركواردت: 36،
 94
 خوارزمية محاكاة التقسية: 13، 142،
 145، 146، 152، 153، 154، 185،
 192، 196، 197، 201
 خوارزمية نهمة: 152
 -د-
 دائرة التطوير الزراعي الإقليمي في
 توسكانا (إيطاليا): 12، 26
 دت، منجول: 407
 دروغيمر، كيلفن: 451
 دلاليو، ستيفاني: 253
 دنا (DNA): 19، 355، 377، 401،
 496، 505، 506، 507، 508، 512،
 513، 514، 515، 516، 518، 519،
 522، 525، 536، 579، 589، 591،
 660
 دنا غريب (Foreign DNA): 503
 دنا مأشوب: 518
 دنا معدل جينياً: 515
 دو، س: 232
 دول نامية: 644
 دوناتلي، مارسيلو: 250

-ج-
 جاريموباس، ب: 254
 جازن، ن: 254
 جمعية (ASABE): 272، 273
 جتنغ، د: 292، 293
 جودة الزيت: 11، 25، 28، 29، 30،
 60، 91، 92، 93، 94، 96، 98، 105،
 111، 113، 117، 121، 127، 128،
 129، 659، 664
 جوي، د: 290
 جيانغ، ياومينغ: 221
 جينات منخرطة: 550
 جيورن، لوكاس: 291

-ح-
 حراثة محافظة: 245، 292، 443
 حماية البيئة: 428
 حمض أميني: 355، 617، 620، 676،
 680
 حمض ليبوي: 363

-خ-
 خطط استراتيجية لمكافحة الحشرات:
 17، 427، 433
 خوارزمية جينية: 13، 142، 145، 146،
 152، 154، 192، 198، 199، 200

رونڊلي، ف: 297	ديفيس، د: 433
ريٽشاردز، ڪيٿ: 234	-ذ-
ريٽشاردز، هارولڊ: 617، 403	ڏيفان فطري: 434، 435، 502، 509، 536، 510
ريس، هـ: 237	-ر-
-ز-	رالي، جون وليم: 473
زانغ، س: 229، 232	راموس، م: 239
زبوتزني، بيوتر: 254	راو، ماهيش: 238
زراعت بيٽي حيوية: 241	ربال، هكتور: 471، 472
زراعت مستدامه: 498	رحمان، شفيقور: 294
زو، ڪزين: 393، 394	ردنر، م: 236
-س-	رقمته صور: 37
سارڪار، ساهورتا: 228	رنا (RNA): 6، 10، 21، 22، 346، 355، 384، 575، 576، 577، 578، 579، 580، 581، 582، 583، 584، 585، 586، 587، 588، 589، 590، 591، 592
سانتي - ريفيرا، ا: 240	روتز، لينڊسي: 291
ستيوارت، نيل: 401	روث الدواجن: 296، 298، 300، 301
سعادة، مارڪ: 238	روث سائل: 294
سلاسل مستهدفة: 586	روث صلب: 294
سلامة الغذاء: 379، 533	روث المواشي: 268، 269، 271، 273، 276، 282، 288، 291، 292، 294، 301، 309، 310، 312
سليني، ف: 535	
سليستيواواي، نونفا آريفين: 247	
سهات مُخرجة: 19، 496، 501، 510، 521، 524، 536	
سهات مُدخله: 19، 496، 500، 503، 509، 521، 535	

- سماد زيوس: 21، 548، 554، 560، 561، 562، 563، 565، 566
- سماد فيشر: 21، 254، 548، 552، 553، 554، 555، 556، 558، 560، 564، 565، 566، 567
- سماد حيواني: 222
- سماد تجاري: 551، 554
- سماد زراعي: 292
- سماد عضوي: 10، 20، 21، 270، 273، 279، 283، 286، 287، 294، 547، 548، 549، 551، 553، 555، 556، 557، 561، 563، 565، 566، 567، 654، 568
- سماد معدني: 246، 287
- سماد نباتي: 566
- سيموتا، كاتالين: 246
- سميث، جايسون: 451
- سميث، د: 290
- سومر، رولف: 245
- سيل، جفري: 520
- ش-
- شابوت، فريدريك: 271، 286، 305
- شاتولان، م: 242
- شبكات عصبونية ذات تغذية امامية
- وانتشار خلفي: 35، 94
- شبكات عصبونية صناعية (ANN): 29، 30، 31، 34، 60، 91، 93، 94، 96، 105، 111، 225، 447، 660
- شبكات كوهونين: 660
- شبكة بيري: 9، 12، 13، 141، 142، 145، 146، 147، 148، 149، 150، 152، 170، 171، 172، 175، 177، 179، 181، 182، 183، 184، 185، 187، 192، 194، 195، 196، 198، 199، 201، 206، 207، 208
- شبكة عصبونية: 34، 94، 96، 446، 654، 659، 662
- شرلوك، ر: 293
- شن، ي: 277، 289
- ص-
- صحة الإنسان: 432
- صرف صحي: 238، 286، 296، 304، 550
- صناعة الأغذية الزراعية: 38
- صناعة زيت الزيتون: 9، 12، 27، 28، 29، 31، 33، 39، 41، 42، 60، 68، 72، 88، 110، 111، 127، 653، 654، 656، 661، 662، 663

علف معدل جينياً: 526	-ض-
علم أمراض النبات: 445، 449	ضغط البخار: 231، 322، 324، 326،
علم حركة السوائل: 431	331
علم النبات: 21، 575	-ط-
-غ-	طاقة مضمّنة: 240، 241
غازات دفيئة: 292	طفيليات: 223، 353
غاليلي، غاليليو: 18، 463	-ظ-
غزاني، سيلفيا: 586	ظاهرة التعدي: 576
غطاء نباتي: 219، 253، 430، 437،	-ع-
441	عبدالله، م. ز: 253
غلانسي، ج: 295، 296	عساف، حامد: 238
غوبتا، أديتي: 291	عصبونية: 12، 24، 26، 29، 30، 31،
غودار، ستيف: 232	32، 34، 35، 36، 60، 61، 93، 94،
غوس، مايكل: 291	96، 105، 111، 113، 114، 127، 129،
غونزالز، س: 239	225، 251، 254، 446، 447، 450،
غيروسكوب ألياف ضوئية: 224	654، 659، 660، 661، 662، 663،
غيمباستياني، غوستافو: 229	664
-ف-	عفن البطاطا: 370، 435، 436، 439
فالكاو، ل: 248	عفن بني: 335
فانغروسفلد، جاكو: 566	عفن ذروري: 353، 354، 357، 360،
فاير، أندرو: 578	367، 369، 437، 438
فتحة صناعية: 485	عفن الصُّليبياء: 438
فتزغوالد، براين: 255	عفن عنقود العنب: 437
	علاقة فرويندليش: 325

فيورفييري، روكو: 225	فريك، ر: 304، 303
-ق-	فطر التَّبْعُ: 437
قرنبيط فسيفسائي: 579، 591	فطر عفن البطاطا: 435، 436، 438، 439
قرينة المخروط: ، 701	فطر المغزلاوية: 15، 357، 509
قصب السكر: 12، 141، 143، 146، 155، 156، 159، 163، 165، 167، 168، 169، 171، 182، 201، 205	فطر نخري: 437
قمح معدل جينياً: 6، 10، 671، 673، 674، 680	فطريات: 15، 16، 232، 322، 345، 346، 347، 349، 350، 351، 352، 353، 354، 355، 356، 357، 358، 359، 360، 361، 362، 363، 364، 365، 366، 367، 368، 369، 370، 428، 433، 434، 435، 436، 440، 443، 444، 464، 472
قياس لوني: ، 701	فك الترميز: 154
قيمة غذائية: 312، 499، 500، 502، 503، 511، 529	فلاشوسكي، جرهاد: 503، 509، 512
-ك-	فلافل، تمارا: 291
كازانسي، كانر: 249	فلن، بول: 230
كاشف فيلينغ: 40	فليديس، كوستاس: 220
كالوديس، سبيريدون: 229	فوجي، هـ: 469، 470
كاليبيان، أحمد: 296	فورسايت، غيوم: 353
كبيرت: 353، 357	فوز، جان: 246
كتالان، هيليو دور: 252	فوسفات عضوي: 350
كرتوف، أولغ: 235	فولر، ترفون: 228
كرزال، غابي: 588	فونس، أندرس: 226
كروذر، جييري: 298	
كرير، س: 330	

- كريشنان، مانو: 222
- كلنوسكي، جاسك: 302
- كنغري، و: 288
- كواساكي، إيجي: 225
- كودوا، ب.: 444
- كوشران، فيونا: 680
- كوكبرن، أندرو: 520
- كيرك، وليم: 446، 436
- ل-
- لارج، إرنست: 436
- لاغي، كلود: 295، 294
- لافلن، غريغوري: 245
- لانغموير، إرفينغ: 621، 620
- لباردي، كونسيتا: 578
- لصيقة تعريف بالترددات الراديوية (RFID): 220
- لغة جافا: 229
- لغة مخطوطية: 224
- لكزر، م.ج: 227
- لوائح الأولويات الموروثة: 208
- لوبز، د: 243، 221
- لوريمور، جفري: 285
- لوغافي، م: 223
- ليدو، إيمانويل: 249
- ليغنانات: 24، 671، 672، 677، 678، 681، 680، 679
- لينغ، كنغيو: 299، 300، 301، 302
- ليوونهُوك، أنطوني فان: 18، 463
- م-
- مؤثرات الخوارزمية: 154
- ماتلاب: 75، 93، 106، 113، 251، 256
- مارو، سوريش: 451
- ماريني، فيديريكو: 661
- مازيرا، أومر راوول: 240
- ماغراي، روجر: 430
- ماكفاندي، بهزادي: 223
- ماكفوي، جون: 409
- مالغريد، جوهان: 304
- مبيدات أعشاب: 223، 224، 397، 400، 404، 515، 533
- مبيدات حشرات: 5، 15، 321، 322، 323، 324، 329، 331، 332، 334، 352، 356، 357، 368، 370، 395، 520
- مبيدات زراعية: 15
- مبيدات فطرية: 15، 16، 345، 349

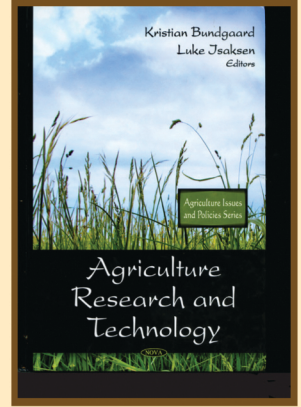
- 351، 354، 356، 366، 369، 370،
428، 433، 435، 436، 443
- مترنيخ، ج: 239
- متساقطات: 438، 440، 441، 447،
450
- مجتمع علمي: 129
- مجتمع الهندسة الزراعية: 215
- مجلس زيت الزيتون الدولي: 27
- مجموعة استبداء: 154
- محتوى غذائي: 11، 19، 495، 510،
525، 535
- محرّض الألوان الثلاثي: 77
- محصول جيني: 406
- محميات طبيعية: 236
- مخططات بيانية للشبكة المحمولة
(PNG): 162
- مخطط غانت: 181
- مخمر فيشر: 548
- مدخن التربة: 329، 333، 334
- مراكمي، ن: 224
- مركبات الزرنيخ العضوية: 363، 364،
370
- مركبات النحاس العضوية: 369
- مركوري، أنطونيوي: 393
- مساعد شخصي رقمي (PDA): 156،
157
- مصادر التفاوتات: 471
- مصفوفة جاكوبية: 36
- مصفوفة هسيانية: 36
- مضاد التعبير: 577
- معادلة ريتشارد: 330
- معادلة فوربييه: 330
- معادن ثقيلة: 566
- معامل فيشر: 254
- معامل ناش ستكليف: 246
- معزاز: 406، 576، 579، 591، 673،
674، 678، 680
- معزازات تكوينية: 394
- مغذيات مكروية: 549
- مفاعيل: 286، 287
- مفتاح التعريف الثانوي: 229
- مفعول دوبلر النبضي: 466
- مكافحة الحشرات: 428، 429، 442
- ملغن، جاب فان: 251
- ملفوف صيني: 6، 10، 20، 547، 548،
550، 551، 554، 556، 560، 563،
564، 565، 566، 567

- مللو، كريغ: 578
- ممتاز الألفة: 23، 604، 612، 616، 617،
619، 620، 621، 622
- منظمة الغذاء والزراعة الفاو (FAO):
240، 638، 639، 649
- منظومة الاتصالات اللاسلكية النقلة
العامة (GSM): 221
- منظومة الاستشراق العامة (GFS):
446
- منظومة تحديد موقع تفاضلية (DGPS):
223
- منظومة المعلومات الجغرافية (GIS):
144، 145، 156، 157، 158، 161،
162، 167، 217، 223، 237، 238،
240، 241
- منكسغارد، لينبي: 226
- مواسيار، غيوم: 585
- موتران، ت: 226
- مورا، د: 226
- مورفي، دانيل: 291
- مون، هونغ: 398، 406
- مياه جوفية: 290
- مياه السيول: 292
- ن-
- ناقل حلزوني: 69، 306، 311
- ناقل ميكانيكي: 310
- نباتات صيدلانية: 625
- نباتات عصوية ثورنجية: 501، 536
- نباتات معدلة جينياً: 6، 10، 11، 16،
19، 22، 376، 377، 378، 379، 382،
393، 394، 395، 396، 398، 399،
403، 408، 409، 495، 496، 500،
501، 502، 503، 509، 510، 511،
518، 519، 521، 523، 525، 528،
529، 533، 534، 535، 536، 575،
576، 581، 583، 592، 603، 604،
611، 624، 678، 679
- النظام العام لتحديد الموقع (GPS):
13، 142، 144، 146، 155، 156، 157،
158، 159، 161، 162، 165، 166،
169، 209، 217، 223، 224، 239
- نمدجة انتشار الهواء: 15
- نمط جيني: 380، 394، 703
- نمط ظاهري: 577، 703
- نمط مواريه: 19، 464، 473، 475،
476، 492
- نمو اقتصادي: 144
- نموذج بولياني: 488

- هندسة النباتات: 409
- هوش، كسندرا: 451
- هوفميستر، مايك: 298
- هويت، جون: 298، 299، 300، 301، 302
- و-
- وارتن، فيليب: 436
- واسنجرو، مايكل: 588
- وانغ، نينغ: 222
- وتربغ، كريستيان: 304
- وسنيسيك، ماغديلينا: 451
- وقود أحفوري: 498، 533، 550
- ونتروب، هارولد: 577
- ي-
- يورغنسن، راسموس: 224
- يي، كزوجون: 256
- نموذج هضم مضغوط: 554
- نيتو، دورفال دورادو: 248
- نيوتن، إسحق: 473
- ه-
- هالفهيل، ماثيو: 402، 403، 404، 406
- هاو، جولي: 528
- هجرة جينية: 396، 703
- هدسون، لورا: 398
- هرسون، كيري: 438
- هريرو، م: 232
- هزلوف، جيم: 383
- هلتن، روجر نوريس: 247
- هلتون، جيمس: 243
- هليا، أرنو: 242
- هموند، بروس: 519، 520
- هنتن، إلدريت فان: 219
- هندسة جينية: 10، 24، 377، 500، 672

بحوث الزراعة وتكنولوجياها (*)

السلسلة:



(*) الكتاب الثالث من الزراعة

الكتاب:

تضم هذه السلسلة ترجمة لأحدث الكتب عن التقنيات التي يحتاج إليها الوطن العربي في البحث والتطوير ونقل المعرفة إلى القارئ العربي.

يقدم هذا الكتاب آخر البحوث الجارية في مجال الزراعة عالمياً. إذ يتطرق إلى تطوير المنظومة المتكاملة للتحكم في عمليات معصرة زيتون ومحاكاتها بغية إنتاج زيت زيتون عالي الجودة، ومنهجية تخصيص الموارد والجدولة في البيئات المتغيرة وتطبيقاتها في إدارة الأعمال الزراعية وجدولتها باستعمال شبكات بتري الهجينة وخوارزمية محاكاة التقسية والخوارزمية الجينية. كما يعطي الكتاب نظرة إجمالية إلى التطورات المستجدة في البرمجيات الزراعية، والنشر الممكّن للأسمدة العضوية على الأرض الزراعية، ونماذج مبيدات حشرية لمحاكاة انتقال مدخات التربة في البيئة وتلاشيها، وكيمياء مبيدات الفطريات واستعمالها وأنماط عملها، كما يناقش الكتاب تقنيات إدخال RNA في النباتات المعدلة جينياً، وتحسين التركيب الحيوي.

المؤلف:

• كريستيان بوندغارد: محرر في شؤون البحوث الزراعية والتكنولوجية في دار نشر الكتب العلمية In-House Nova، الولايات المتحدة الأمريكية.

• لوك إيزاكسن: محرر في شؤون البحوث الزراعية والتكنولوجية في دار نشر الكتب العلمية In-House Nova، الولايات المتحدة الأمريكية.

• حاتم النجدي: أستاذ في الجامعات السورية متخصص بالإلكترونيات والاتصالات، ترجم العديد من الكتب الأكاديمية العلمية منها: تقانة البناء: التحليل والاختيار (المنظمة العربية للترجمة).

المترجم:

1. المياه
2. البترول والغاز
3. التروكيمياة
4. النانو
5. التقنية الحيوية
6. تقنية المعلومات
7. الإلكترونيات والاتصالات والضوئيات
8. الفضاء والطيران
9. الطاقة
10. المواد المتقدمة
11. البيئة
12. الرياضيات والفيزياء
13. الطب والصحة
14. الزراعة
15. البناء والتشييد

سلسلة كتب التقنيات الاستراتيجية والمتقدمة



المنظمة العربية للترجمة



مدينة الملك عبدالعزيز
للعلم والتكنولوجيا KACST

ISBN 978-614-434-059-2



9 786144 340592

الثمان: 78 دولاراً
أو ما يعادلها