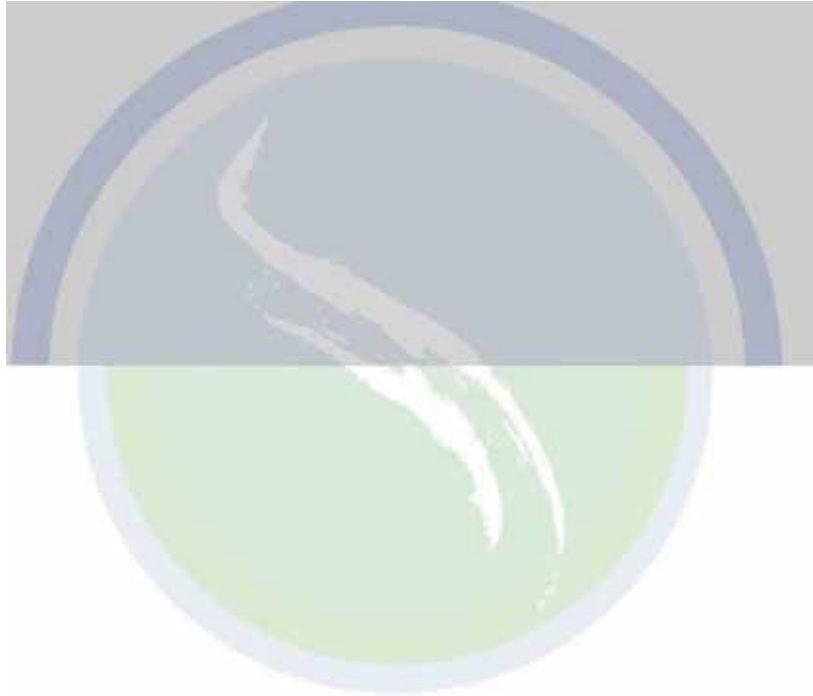




مدونة السلوك الدولية
عن توزيع المبيدات واستخدامها

الخطوط التوجيهية الخاصة بمنع وإدارة المقاومة
لفعل مبيدات الآفات



سبتمبر 2012

مدونة السلوك الدولية
عن توزيع المبيدات واستخدامها

الخطوط التوجيهية الخاصة بمنع وإدارة المقاومة لفعل مبيدات الآفات

ترجمة
الدكتور/ محمود فهمي حرب
الأستاذ المتفرغ بمعهد بحوث وقاية النباتات
مصر

إشراف و مراجعة للترجمة العربية
الدكتور/ شوقي عبد الولي الدبعي
المسؤول الإقليمي لوقاية النباتات
المكتب الإقليمي لمنظمة الأغذية و الزراعة للأمم المتحدة
للشرق الأدنى و شمال أفريقيا

منظمة الأغذية و الزراعة للأمم المتحدة (FAO)

سبتمبر 2012

الأوصاف المستخدمة في هذا الإصدار وطريقة عرضها لا تعبر عن أي رأي خاص لمنظمة الأغذية والزراعة للأمم المتحدة (FAO) أو فيما يتعلق بالوضع القانوني لأي بلد أو إقليم أو مدينة أو منطقة أو فيما يتعلق بسلطاتها أو بتعيين حدودها وتخومها. ولا تعبر الإشارة إلى شركات بعينها أو منتجات بعض المصنعين، سواء كانت مُرخصة أم لا، عن دعم أو توصية من جانب منظمة الأغذية والزراعة للأمم المتحدة (FAO) أو تفضيلها على مثيلاتها مما لم يرد ذكره.

تمثل وجهات النظر الواردة في هذه المواد الإعلامية الرؤية الشخصية للمؤلفين ولا تعكس بأي حال وجهات نظر منظمة الأغذية والزراعة للأمم المتحدة (FAO).

E-ISBN 978-92-5-107348-3 (PDF)

جميع حقوق الطبع محفوظة. وتشجع منظمة الأغذية والزراعة للأمم المتحدة (FAO) استنساخ ونشر المواد الإعلامية الواردة في هذا المطبوع. ويجوز عند الطلب استعمالها لغير الأغراض التجارية دون مقابل. وقد يتوجب دفع رسوم مالية لاستنساخها لأغراض إعادة بيعها أو لأغراض تجارية أخرى، بما في ذلك الأغراض التعليمية. وتقدم طلبات الحصول على الموافقة لاستنساخ أو نشر المواد الإعلامية الواردة في مطبوعات المنظمة، وغيرها من استفسارات عن الحقوق والتراخيص بالكتابة على عنوان البريد الإلكتروني: copyright@fao.org أو إلى:

Chief,
Publishing Policy and Support Branch, Office of Knowledge Exchange, Research and Extension,
FAO, Viale delle Terme di Caracalla, 00153 Rome, Italy.

©FAO 2012

تأسس برنامج "مابين المنظمات للإدارة السليمة للمبيدات (IOMC)" عام 1995 بناءً على توصيات "مؤتمر الأمم المتحدة حول البيئة والتنمية" الذي انعقد عام 1992، وذلك تدعيماً للتعاون وزيادة التنسيق الدولي في مجال الأمان الكيميائي. المنظمات المشاركة في هذا البرنامج هي منظمة الأغذية والزراعة (FAO)، منظمة العمل الدولية (ILO)، منظمة التعاون الاقتصادي والتنمية (OECD)، برنامج الأمم المتحدة للبيئة (UNEP)، منظمة الامم المتحدة للتنمية الصناعية (UNIDO)، هيئة الأمم المتحدة للتدريب والبحث (UNITAR) ومنظمة الصحة العالمية WHO. كما شارك البنك الدولي وبرنامج الأمم المتحدة للتنمية (UNDP) كمراقبين. يهدف برنامج (IOMC) إلى تعزيز تنسيق السياسات والأنشطة التي تنتهجها المنظمات الأعضاء في البرنامج، بشكل جماعي أو منفرد، لتحقيق الإدارة السليمة للكيمواويات، فيما يخص صحة الإنسان والبيئة.

تم إعداد هذا الإصدار في إطار برنامج (IOMC) ولا تعبر الآراء أو السياسات الواردة في هذا الإصدار بالضرورة عن آراء المنظمات المشاركة في البرنامج.

تم نشر هذا العمل أصلاً باللغة الانكليزية من قبل منظمة الأغذية والزراعة للأمم المتحدة (FAO) بعنوان:
"Guidelines on Prevention and Management of Pesticide Resistance"
"الخطوط التوجيهية الخاصة بمنع وإدارة المقاومة لفعل مبيدات الآفات". وأعدت هذه الترجمة العربية بمعرفة منظمة الأغذية والزراعة، وفي حالة وجود أي اختلافات فإنه يُعتمد باللغة الأصلية.

بيان المحتويات

6المختصرات
7التعاريف
10مقدمة
10	1-1 نطاق الخطوط التوجيهية
10	2-1 مشكلة المقاومة وأسبابها
11	3-1 الأهداف والتحديات في إدارة السيطرة على ظاهرة المقاومة
12	4-1 تثقيف وتوعية المزارعين
12تقييم مخاطر المقاومة
12	1-2 أساسيات المقاومة
15	2-2 آليات المقاومة لفعل المبيدات
17	3-2 العوامل الرئيسية في تطور المقاومة
19	1-3-2 العوامل البيولوجية (الاحيائية)
24	2-3-2 العوامل الوراثية/الجينية
27	3-3-2 العوامل التشغيلية
32	4-2 مخاطر مقاومة فعل المبيدات الفطرية
35	5-2 مخاطر مقاومة فعل مبيدات الحشائش
38	6-2 مخاطر مقاومة فعل المبيدات الحشرية
40	7-2 مخاطر مقاومة فعل مبيدات القوارض
41منع وإدارة مقاومة الآفات لفعل المبيدات
41	1-3 وضع خطة لإدارة المقاومة لفعل المبيدات (RMP)
41	2-3 مبادئ عامة
45	3-3 تكتيكات إدارة السيطرة على مقاومة الآفات لفعل المبيدات- جميع أنواع مبيدات الآفات
48	4-3 تكتيكات إدارة السيطرة على مقاومة فعل المبيدات الفطرية
50	5-3 تكتيكات إدارة السيطرة على مقاومة فعل مبيدات الحشائش
53	6-3 تكتيكات إدارة السيطرة على مقاومة فعل المبيدات الحشرية
55	7-3 تكتيكات إدارة السيطرة على مقاومة فعل مبيدات القوارض
56اكتشاف المقاومة لفعل المبيدات والتحقق منها
56	1-4 أهداف كشف ورصد المقاومة
58	2-4 طرق التحقق من المقاومة
60	3-4 إجراءات الاختبار
60المقاومة والمحاصيل المحورة وراثياً/جينية
60	1-5 مقدمة
61	2-5 تاريخ تطور المقاومة في المحاصيل المحورة وراثياً بجين بكتيريا الباسيلس (<i>Bt</i>)
63	3-5 التكتيكات الخاصة بمنع تطور المقاومة لفعل توكسينات بكتيريا الباسيلس (<i>Bt</i>)
65مقاومة ناقلات الأمراض
66	الملحق الأول: موضوعات إضافية لمزيد من القراءة
70	الملحق الثاني: أمثلة عملية لخطط إدارة السيطرة على المقاومة

المختصرات

بكتيريا باسيلس ثورنچينسيس	Bt
منظمة الأغذية والزراعة للأمم المتحدة	FAO
لجنة مجابهة المقاومة للمبيدات الفطرية	FRAC
فريق العمل المعني بمقاومة الآفات لفعل المبيدات الفطرية	FRAG
الكائنات المعدلة وراثياً/جينياً	GMO
اللجنة المعنية بمجابهة المقاومة لمبيدات الحشائش	HRAC
اللجنة المعنية بمجابهة المقاومة للمبيدات الحشرية	IRAC
فريق العمل المعني بمقاومة الآفات الحشرية لفعل المبيدات	IRAG
الإدارة المتكاملة لمكافحة الآفات	IPM
مقاومة التأثير الصارع للمبيدات	Kdr
طريقة التأثير (كيفية إحداث الفعل)	MoA
برنامج مكافحة داء كلابية الذنب؛ العمى النهري	OCP
المبيدات الفسفورية العضوية	OP
أفراد مقاومة	R individuals
خطة إدارة السيطرة على مقاومة فعل المبيدات	RMP
كائن حي متمائل الزيغوت (متماثل الألائل) لصفة المقاومة	RR
لجنة العمل المعنية بمقاومة الآفات لفعل مبيدات القوارض	RRAC
كائن حي متغاير الزيغوت (متغاير الألائل) لصفة المقاومة	RS
أفراد حساسة	S individuals
كائن حي متمائل الزيغوت (متماثل الألائل) لصفة الحساسية	SS
منظمة الصحة العالمية	WHO

تعريف

المقاومة السلوكية: هي المقاومة الناتجة من حدوث تغيير في سلوك الآفة، مما يجعل هذه الآفة تستطيع أن تتفادى التأثيرات القاتلة للمبيد. غير أن الآفة الحية تظل حساسة للمبيد، وإذا تعرضت لجرعات قاتلة منه ولم تستطع تجنبها فإنها ستموت. وعلى ذلك، فإن تلك الحشرات التي تفادت التعرض للمبيد فإنها تبقى حية وتتكاثر. وقد يؤدي ذلك إلى ظهور سلالة مقاومة سلوكياً.

المقاومة المشتركة: هي مقاومة سلالة لمبيد دون أن تكون الأجيال السابقة لهذه السلالة قد تعرضت لهذا المبيد من قبل، ولكن تكون قد تعرضت لمبيد آخر. وتحدث المقاومة المشتركة بسبب فعل مركبين أو أكثر على نفس الموقع المستهدف و/أو تتأثر بنفس آلية المقاومة. وتتطور صفة المقاومة المشتركة على نحو أكثر شيوعاً مع المركبات التي لها نفس طرق إحداث الفعل (MoA) والتي عادة ما تكون (وليس دائماً) ذات صلة كيميائية ومن نفس المجموعة الكيميائية. وقد تكون كاملة أو جزئية (إذا كانت أكثر من آلية واحدة مسؤولة عن المقاومة).

الجرعة التشخيصية: تلك الجرعة التي تُستخدم لتحديد ما إذا كانت الآفات التي تم جمعها واختبارها هي مقاومة إلى الحد الذي يُمكن عنده حدوث فشل المكافحة الحقلية.

ثنائي الصبغيات/الكروموسومات (Diploid): وجود مجموعتين من الكروموسومات المتماثلة مرتبة في أزواج في النواة بحيث يوجد ضعف عدد أحادي الصبغيات (الكروموسومات)، وعادة ما تكتب $2n$.

الجرعة الفارقة (الجرعة التمييزية): تلك الجرعة التي تستخدم للتمييز أو التفريق بين الأفراد المقاومة والحساسة وليس لها علاقة مباشرة بالكفاءة الحقلية.

أحادية الصبغيات/الكروموسومات (Haploid): وجود مجموعة أحادية من الصبغيات/الكروموسومات المفردة في الخلية الجسمية (خلية بنصف عدد الكروموسومات). وأحادية الكروموسومات من الخصائص المميزة للخلايا الجنسية والجرثومية.

مقاومة أيضاً (استقلالية): يُستدل على مقاومة الآفة لفعل المبيد من خلال عملية التمثيل أو الأيض، كما في الحشرات التي تمتلك القدرة على إزالة السموم أو تكسيرها على نحو أسرع من تلك الأفراد الحساسة، أو التي تعمل على تخليص أجسامها من الجزيئات السامة على وجه السرعة. وتستخدم الحشرات النظم الإنزيمية الخاصة بها في تكسير المبيدات الحشرية. وقد يكون لدى السلالات المقاومة منها مستويات أعلى من هذه الإنزيمات أو من إنزيمات ذات كفاءة أعلى في فقد المركب لسميته. وبالإضافة إلى كون هذه النظم الإنزيمية أكثر كفاءة فإنها تمتلك أيضاً مجالاً واسعاً من النشاط، أي تستطيع هدم مبيدات عديدة مختلفة.

طريقة تأثير المبيد (MoA)/كيفية إحداث الفعل: هي عملية حيوية كيميائية يعمل المبيد من خلالها على تعطيل النواحي البيولوجية الطبيعية للآفة، وغالباً ما تؤدي إلى موت الآفة. وعادة ما يكون ذلك موقع ارتباط مُستهدف أو عملية حيوية أساسية.

المقاومة المتضاعفة (المقاومة المتعددة): وجود عدة آليات مختلفة لمقاومة فعل المبيد في ذات الوقت في ذات الكائن الحي. وقد تجتمع آليات مختلفة للمقاومة لتوفير مقاومة لفئات متعددة من مبيدات الآفات.

وفي الحقل ربما تظهر المقاومة المتعددة والمقاومة المشتركة، غير أن النوع الأول يظهر بفعل عوامل انتخاب منفصلة، بينما الأخير يكون نتيجة آليات المقاومة المشتركة.

مركب متعدد الأهداف: هو المركب الذي يؤثر على أكثر من موقع واحد مُستهدف. ولكي يصبح الكائن الحي مقاوم فإنه يحتاج حينئذ لتطور المقاومة في أكثر من موقع من المواقع المُستهدفة في المركب، وهو الأمر الذي يكون أكثر صعوبة من تطور المقاومة لفعل مركب أحادي الهدف، أي الذي يؤثر على موقع واحد مستهدف فقط.

مقاومة النفاذية أو التخلل: إحدى آليات المقاومة لفعل المبيدات، وتقتصر بصفة أساسية على الحشرات، حيث يعمل الجليد (الكيوتكل) على إبطاء نفاذ أو تخلل المبيد إلى داخل جسم الحشرة. وعادة ما يوجد هذا النوع من المقاومة جنباً إلى جنب مع غيره من أشكال المقاومة الأخرى. ويعمل إبطاء نفاذية المبيد على تكثيف تأثيرات الأشكال الأخرى من آليات المقاومة.

المبيد (مبيد الآفات): يشير هذا المصطلح إلى أي مادة أو خليط من المواد، أو الكائنات الحية الدقيقة، متضمنة الفيروسات، يكون الغرض منها طرد أو مكافحة أو القضاء على أي آفة، بما في ذلك ناقلات الأمراض للإنسان أو الحيوان، وأنواع النباتات أو الحيوانات غير المرغوبة والتي تحدث ضرراً أو تتدخل بأي شكل أثناء إنتاج الأغذية أو المنتجات الزراعية أو الأخشاب أو المصنوعات الخشبية أو الأعلاف الحيوانية، أو أثناء تصنيعها أو تخزينها أو نقلها أو تسويقها، وكذلك أي مادة تُعطى للحيوانات لمكافحة الحشرات أو العناكب أو غيرها من الآفات الموجودة في الحيوانات أو على أجسامها. ويشمل هذا المصطلح المواد التي تستخدم كمنظمات نمو حشرية أو نباتية؛ أو كمسقطات لأوراق النباتات؛ أو لتجفيفها. كما يشمل أيضاً مركبات عقد الثمار أو تخفيفها أو لوقاية الثمار من السقوط قبل نضجها، وكذلك المواد التي تستعمل في المحاصيل سواء قبل حصادها أو بعده لوقايتها من التدهور أثناء التخزين أو النقل، كما يتضمن المواد المنشطة أو المؤمنة للمبيد، حيث أنها تعتبر عاملاً مكملاً للأداء المرضي للمبيد.

المقاومة (التقنية): تغيير جيني في الكائن الحي استجابة لضغط الانتخاب نتيجة لاستعمال المبيد والذي قد يؤدي إلى ضعف أو عرقلة المكافحة الحقلية.

المقاومة (العملية): تغيير في حساسية مجموع عشيرة الآفة ينتقل بالوراثة، وينعكس في تكرار فشل المنتج (ظهور أكثر من حالة) في تحقيق مستوى المكافحة المتوقع عند استخدامه وفقاً للإرشادات الواردة ببطاقة البيانات ضد نوع من الآفات بعينه، وحيثما تُستبعد أسباب الفشل الأخرى المتعلقة بتخزين المركب وأسلوب التطبيق والظروف المناخية والبيئية الغير معتادة.

آلية المقاومة: عمليات بيولوجية تستخدمها الآفة لتفادي التأثير القاتل للمبيد. وقد يمتلك الكائن الحي المقاوم أكثر من آلية لمقاومة فعل المبيدات.

المقاومة بالانتخاب: بقاء الأفراد المقاومة في العشيرة على قيد الحياة فيما تموت الأفراد الحساسة نتيجة المعاملة بمبيد الآفات. وهذه الأفراد "المنتخبة" تعيش بعد غيرها وتتكاثر وتنتج صغاراً (ذرية) تحمل صفة المقاومة. والنتيجة النهائية هي أن الاستخدام المستمر للمبيد يحدث "انتخاباً" في عشيرة الآفة التي تصبح أقل وأقل حساسية للمبيد. وقد تكون عملية الانتخاب سريعة حيث تتم خلال موسم أو موسمين أو

قد تتطور ببطء على مدار عدد من السنين حيث يعتمد ذلك على الآفة، ومدى تعرضها للمبيد، والجينات المقاومة لمبيد بعينه.

الخطوط التوجيهية الخاصة بمنع وإدارة المقاومة لفعل مبيدات الآفات

1- مقدمة

1-1 نطاق الخطوط التوجيهية

تتناول هذه الخطوط التوجيهية مشكلة مقاومة الآفات لفعل المبيدات في مجال الزراعة، وكيفية الحد من تطورها مع الاستمرار في حماية المحاصيل من الإصابة بالآفات. وقد أُعدت هذه الوثيقة لأجل المتخصصين العلميين والتقنيين وخبراء التخطيط الذين يقومون بإعداد أو تقييم خطط إدارة السيطرة على المقاومة لفعل المبيدات، وكذلك القائمين على إدارة مبيدات الآفات المنوط بهم تقييم مخاطر تطور المقاومة خلال تسجيل المبيدات الجديدة أو عند تجديد تسجيل المنتجات التي تمت الموافقة عليها من قبل. وقد تم ترتيب هذه الخطوط التوجيهية على النحو التالي:

- يعرض هذا الفصل بإيجاز مشكلة المقاومة وأسبابها، ويحدد الأهداف والتحديات في إدارة السيطرة على المقاومة لفعل المبيدات؛
- الفصل الثاني، يصف العوامل المؤثرة على تطور المقاومة، ويبين كيفية تقييم المخاطر، واحتمالية ظهور المقاومة لفعل المبيدات؛
- الفصل الثالث، يشرح الممارسات والاستراتيجيات لمنع وإدارة السيطرة على مقاومة المبيدات؛
- الفصل الرابع، يشرح كيفية الكشف والتحقق من ظاهرة المقاومة في الحقل؛
- الفصل الخامس، وصف لكيفية منع حدوث تطور المقاومة في آفات المحاصيل المحورة وراثياً بـجين بكتيريا باسيلس ثورنچينسيس (*Bt*)؛
- الفصل السادس، يتطرق بإيجاز لظاهرة المقاومة في ناقلات الأمراض البشرية؛
- الملحق الأول، يعرض قائمة بموضوعات إضافية ومصادر أخرى على الانترنت لمزيد من القراءة؛
- الملحق الثاني، يوفر روابط الانترنت لأمثلة من الواقع العملي بشأن خطط إدارة السيطرة على المقاومة.

وتركز هذه الخطوط التوجيهية على إدارة السيطرة على المقاومة لفعل مبيدات الآفات الكيماوية في الزراعة (بما في ذلك المحاصيل المحورة وراثياً/جينية)، وفي الحشرات، والحشائش (الأعشاب)، والأمراض الفطرية والقوارض. ورغم أن الكثير من المبادئ الواردة بها تصلح أيضاً لأغراض أخرى من استخدامات المبيدات مثل الصحة العامة أو الغابات، إلا أنه لم يتم تناول هذه الاستخدامات بالتفصيل، حيث تتوفر الإرشادات بشأن إدارة السيطرة على مقاومة آفات الصحة العامة وناقلات الأمراض في مواضع أخرى.

1-2 مشكلة المقاومة وأسبابها

المقاومة صفة مبنية على عوامل وراثية (جينية) يتسم بها الكائن الحي لكي يستطيع أن يبقى على قيد الحياة بعد تعرضه لجرعات من المبيد، في حين أن هذه الجرعات قد تكون قاتلة لسلالة الكائن الحي التي لم يسبق معاملتها بالمبيد. وتوجد جينات المقاومة بصورة طبيعية في أفراد الآفة عن طريق الوراثة

وحدوث الطفرات الجينية. وتنتشر هذه الجينات داخل مجموع عشائر الآفة بسبب عملية الانتخاب التي تحدث نتيجة تكرار المعاملات بالمبيد. وتظهر عشائر الآفة المقاومة بسبب الأفراد التي تحمل صفة المقاومة وتستطيع أن تتحمل معاملات المبيد وتستمر في المعيشة وتقوم بالتكاثر، وحينئذ تنتقل صفة المقاومة إلى الجيل التالي، في الوقت الذي تُقتل فيه الأفراد الحساسة نتيجة المعاملة بالمبيد. وإذا استمرت المعاملة بالمبيد فإن النسبة المئوية للأفراد المقاومة التي ستبقى حية "بالانتخاب" سوف تتزايد، بينما الأفراد الحساسة ستقل (أي تحل الأفراد المقاومة محل الأفراد الحساسة) إلى الدرجة التي يصبح فيها المبيد أقل فعالية وحينئذ لن يكون مستوى عمليات مكافحة مقبولاً.

ودائماً ما يتضح أن بعض الممارسات في مكافحة الآفات يؤدي إلى تفاقم في فقد الأفراد الحساسة في مجموع عشائر الآفة وتطور ظاهرة المقاومة. وتشمل هذه الممارسات ما يلي:

- الاستخدام المستمر والمتكرر لأحد مبيدات الآفات أو أي من المبيدات ذات الصلة الوثيقة به على عشائر آفة معينة؛
- تطبيق معدلات استخدام أقل أو أعلى من تلك الموصى بها على بطاقة بيانات المبيد؛
- ضعف التغطية في المنطقة المُعاملة بالمبيد؛
- تكرار معاملة الكائن الحي ذو العشائر عالية الكثافة، وفترات الجيل قصيرة؛
- التقصير في إدخال ممارسات مكافحة التي لا تُستخدم فيها مبيدات كيميائية عندما تكون الظروف سانحة لذلك؛
- معاملة طور اليرقة وطور الحشرة الكاملة في آن واحد باستخدام مركب واحد أو بأحد المركبات ذات الصلة به.

وبالإضافة إلى ذلك، فإن عدم الالتزام بالممارسات الزراعية الجيدة مثل اتباع الدورة الزراعية، ونظافة المعدات الزراعية التي تساعد على منع انتشار زريعة الآفات والأبواغ (الجراثيم) يمكن أن يؤدي إلى تفاقم مشكلة المقاومة.

1-3 الأهداف والتحديات في إدارة السيطرة على ظاهرة المقاومة

إن الهدف من إدارة السيطرة على ظاهرة المقاومة هو منع، أو على الأقل، إبطاء تراكم أعداد الأفراد المقاومة في مجموع عشائر الآفة، وذلك للحفاظ على فعالية المبيدات المتاحة. ويمكن اعتبار إدارة السيطرة على المقاومة هي أيضاً إدارة للحساسية، حيث أن الهدف هو الحفاظ على نسبة عالية من جينات صفة الحساسية داخل عشائر الآفة مع الحفاظ على جينات المقاومة في أدنى حد. ويتمثل التحدي هنا في الحد من الضغط الانتخابي للأفراد المقاومة مع توفير المستوى اللازم من الحماية للمحصول.

وإذا كانت إدارة المقاومة تعتبر بسيطة نسبياً من حيث المبدأ فإن وضعها في حيز التطبيق لمحصول معين أو آفة بعينها عادة لا يكون كذلك. ولا يوجد للأسف أسلوباً وحيداً لإدارة المقاومة يمكن تطبيقه عالمياً على جميع المبيدات والآفات والمحاصيل. كما لا تعتبر ظاهرة المقاومة مجرد مشكلة تقنية فحسب بحيث يمكن التغلب عليها بسهولة باستخدام مبيد جديد مناسب للآفات مع نمط جديد لطريقة تأثيره، أو إجراء تعديل في طريقة استخدام المبيدات التقليدية.

وتتطلب السيطرة على المقاومة ما يلي: أولاً، استخدام استراتيجيات رشيدة لمكافحة الآفات تركز على مبادئ وأسس الإدارة المتكاملة للآفات وناقلات الأمراض، التي من شأنها أن تُحد من استخدام المبيدات وبالتالي تقليل الضغوط الانتخابي الذي يتسبب في المقاومة؛ ثانياً، تنفيذ خطة شاملة مهياً لإدارة السيطرة على المقاومة وتتلائم مع الآفة والمحصول والمنطقة، وأن تشكل جزءاً مكملاً في استراتيجية الإدارة المتكاملة للآفات (IPM) المتعلقة بالنظام المحصولي، حيث أن المبدأ الرئيسي في الإدارة المتكاملة للآفات هو استخدام المبيدات فقط عند الضرورة القصوى، واللجوء إلى استخدام أساليب بديلة في إدارة الآفات كلما كان ذلك ممكناً. وعلى ذلك، فإن الإدارة المتكاملة للآفات تمثل منهجاً أصيلاً في إدارة السيطرة على المقاومة عن طريق الحد من الضغط الانتخابي الذي يؤدي إلى تطور وظهور ظاهرة المقاومة.

1-4 تثقيف وتوعية المزارعين

تؤثر العوامل الاجتماعية والاقتصادية والبنية التحتية على نجاح أي خطة لإدارة السيطرة على المقاومة. وهناك دائماً اهتمام بشأن تكلفة المبيدات. وعلى ذلك، فإن التفضيل غالباً ودائماً ما يكون للمنتج الأقل تكلفة. وبينما يبدو واضحاً أن منع تطور المقاومة هو الخيار الأفضل، إلا أن ذلك لا يكون دائماً جلياً للمزارعين خاصة إذا كان المبيد المستخدم معقول الثمن نسبياً، علاوة على أن تطور ظهور المقاومة يستغرق وقتاً طويلاً. وإذا كان من الواضح أن الالتزام ببرامج الإدارة المتكاملة لمكافحة الآفات وبخطة مُعدة بشكل جيد لإدارة السيطرة على المقاومة سوف يؤدي إلى زيادة الربحية، فإن المزارعين حينئذ سيكونوا أكثر ميلاً لاتباع هذه الممارسات. أما إذا لوحظ عدم وجود عائد واضح من اتباع هذه البرامج أو كان من الصعب تنفيذ التوصيات، فإن احتمال العمل بها سيكون ضعيفاً، وبالتالي فإن احتمال تطور وظهور المقاومة يكون عالياً. لذلك فإن تثقيف وتوعية المزارعين وسهولة الحصول على المعلومات هي في غاية الأهمية لتنفيذ أي خطة لإدارة السيطرة على المقاومة. ومن ثم يتعين على المزارعين معرفة ما يجب عمله لكي يمكن تطبيق برنامج الإدارة المتكاملة لمكافحة الآفات ومنع تطور ظاهرة المقاومة وإدراك ماهي أهمية ذلك. كما يجب أن تكون المعلومات في متناول اليد على نطاق واسع ومفهومة لهم.

2- تقييم مخاطر المقاومة

لمنع وإدارة السيطرة على المقاومة بشكل فعال، فإن كل من المبادئ التي تقوم عليها نشأة أو تطور المقاومة والعوامل التي يمكن أن تؤثر في تطورها وانتشارها ينبغي أن تكون مفهومة.

2-1 أساسيات المقاومة

ماهي المقاومة؟

يمكن تعريف المقاومة بأنها تغيير وراثي/جيني في الكائن الحي استجابة لحدوث "الانتخاب" بواسطة المواد السامة. ولا يؤدي تطور المقاومة مباشرة إلى عرقلة وتدهور عملية مكافحة الآفات. فعلى سبيل المثال، ربما يُلاحظ مستويات منخفضة للمقاومة في المختبر دون أن تحدث مشاكل فورية تظهر في الحقل. ومع ذلك، إذا كان هناك تشجيع لمنع المقاومة فينبغي الكشف عنها والتعامل معها في مرحلة مبكرة قبلما يؤدي الأمر إلى حدوث فشل في عمليات مكافحة الحقل.

عندما تفشل عمليات مكافحة الآفات في الحقل بسبب المقاومة للمبيدات، فإننا نتكلم عن "المقاومة الملموسة". وهي تغيير في حساسية مجموع عشيرة الآفة ينتقل بالوراثة، وينعكس في تكرار فشل المبيد (ظهور أكثر من حالة) في تحقيق مستوى المكافحة المتوقع عند استخدامه وفقاً للتوصيات الواردة ببطاقة بيانات العبوة ضد نوع من الآفات بعينه، وحيثما تُستبعد المشاكل الأخرى المتعلقة بالمنتج مثل تخزين المركب وأسلوب التطبيق والظروف المناخية أو البيئية الغير مألوفة باعتبارها قد تكون ضمن أسباب الفشل. ويُعد نطاق هذا التعريف الأخير أضيق من سابقه المذكور أعلاه، وعلى الرغم من أن هذا الفشل خلال هذه المرحلة قد لا يؤدي سوى إلى بعض المشاكل الاقتصادية الناجمة عن ظهور المقاومة، إلا أنه قد يكون من المتأخر عمل التدابير اللازمة لإدارة السيطرة على ظاهرة المقاومة.

الأسس الوراثية للمقاومة

تنشأ المقاومة عندما تحدث طفرات وراثية/جينية طبيعية، مما يسمح لنسبة صغيرة من مجموع عشائر الآفة بأن تقاوم وتتجو من تأثيرات المبيد وتظل على قيد الحياة. وإذا حدث وأن استمرت هذه الصفة مع الاستمرار في استخدام نفس مبيد الآفات، فإن هذه الأفراد المقاومة سوف تتكاثر وبالتالي سوف تنتقل التغييرات الوراثية (الجينية) المسببة للمقاومة من الآباء إلى النسل الناتج. وخلال هذه العملية التي يتم فيها "انتخاب" الأفراد المقاومة فإن أعدادها تتضاعف وفي نهاية الأمر تصبح كثيرة جداً، وحينئذ قد تفشل مكافحتها بهذا المبيد (شكل-1). ومن المهم عدم الخلط بين مصطلح "المقاومة Resistance" ومصطلح "التحمل Tolerance" الذي يعني قدرة الكائن الحي على تحمل التعرض لجرعات من المبيد تحت مميته، ولكن صفة التحمل لا تُورث إلى النسل.

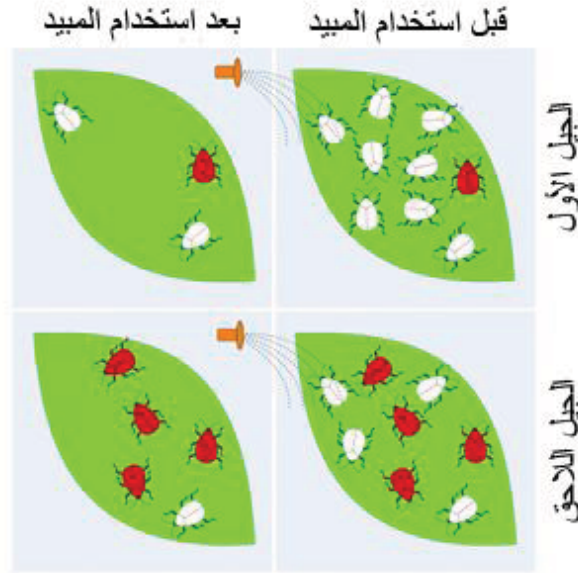
إن تطور المقاومة ما هي إلا عملية وراثية. وتكمن "السمة أو الصفة" التي تمنح المقاومة، في جين واحد أو أكثر. والجين (أو المورث) هو جزء من كروموسوم (صِبْغِي) في خلية الكائن الحي. وعندما تتكاثر أفراد العشيرة، فإنها تنقل هذه الصفات عبر تركيبة مؤتلفة فريدة من الجينات إلى نسلها. وللجين أشكال بديلة يطلق على كل منها أليل، فالأليل هو واحد من اثنين أو أكثر من الأشكال المتعددة للجين والتي تتحكم في نفس الصفة، فمثلاً قد يمثل أليل منها صفة المقاومة (R)، والآخر صفة الحساسية (S).

وتحتوي معظم الكائنات الحية متعددة الخلايا على مجموعتين من الكروموسومات (الصبغيات) ويطلق عليها ثنائية الصبغيات Diploid. وتحمل هذه الكائنات ثنائية الصبغيات نسخة واحدة من كل جين (وبالتالي أليل واحد) على كل كروموسوم. وبما أنها تحمل مجموعتين من الكروموسومات فهذا يعني أنها تحمل نسختين من كل جين أي زوجاً من الألائل لكل جين. إذا كان كلا الأليلان متطابقان، فالكائن الحي يكون متماثل الزيجوت، أما إذا كان الأليلان مختلفان فالكائن الحي يوصف بأنه متباين الزيجوت. بعض الكائنات الحية (مثل كثير من الفطريات، في مرحلة النمو الخضري خلال دورة حياتها) تكون أحادية الكروموسومات (الصبغيات) ويطلق عليها Haploid؛ حيث أنها تحمل مجموعة أحادية من الكروموسومات المفردة.

وتتراوح الألائل المقاومة ما بين سائدة وشبه سائدة ومنتحية. فإذا كان الأليل سائد أو شبه سائد، فإن أحد الآباء فقط هو الذي يحتاج لأن يمتلك صفة المقاومة لكي تنتقل بصورة تامة أو جزئية إلى النسل. أما إذا كان الأليل منتحياً فإن كلا الأبوين يجب أن يمتلكا هذه الصفة. ومن حسن الحظ أن معظم آليات المقاومة

يتم التحكم فيها بواسطة الألائل المتنحية أو شبه السائدة، الأمر الذي من شأنه أن يعمل على إبطاء انتشار صفة المقاومة داخل مجموع عشيرة الآفة.

وتوجد صفة المقاومة الوراثية، التي تسمح للكائن الحي بأن ينجو ويبقى على قيد الحياة بعد تعرضه للمبيد، في أحد أو كلا أليلين الجين. وعندما يحمل كلا الأليلان صفة المقاومة، فإنها تكتب RR، وتوصف الآفة بأنها متماثلة الزيجوت (متماثلة الألائل) لهذه الصفة؛ وعلى الأرجح أن تكون هذه الآفة شديدة المقاومة لمبيد الآفات، وفي الغالب أن ينتقل أحد أليلان المقاومة R من أحد الأبوين إلى نسله. فإذا استقبل النسل أيضاً أليل للمقاومة R من الطرف الآخر للأبوين فإنه سوف يتجمع أليلان المقاومة وتصبح RR. إذا وجدت صفة المقاومة في أليل واحد فقط للجين، فإن الآفة توصف بأنها متغايرة الزيجوت (متغايرة الألائل) لصفة المقاومة (RS)، وتكون أقل مقاومة لمبيد الآفات، وقد تنتقل هذه الصفة أو لا تنتقل على الجين إلى نسلها. أما الأفراد متماثلة الزيجوت (متماثلة الألائل) لصفة الحساسية (SS) فإنها تكون حساسة لمبيد الآفات.



شكل-1 المعاملة بالمبيد يمكن أن تؤدي إلى انتخاب الأفراد المقاومة في عشيرة الآفة. وفي هذا الشكل، ظهرت في الجيل الأول حشرة شديدة المقاومة للمبيد (الحمراء). وبعد المعاملة بالمبيد، أصبح يمثل نسلها نسبة أكبر في مجموع العشيرة نظراً لانتقاء الأفراد الحساسة (البيضاء) وقتلها. بعد تكرار المعاملات أصبحت الأفراد المقاومة تشكل الأغلبية في مجموع عشيرة الآفة (المصدر: ويكيبيديا؛ 11 يناير 2012).

وفي العادة فإن عشائر الكائنات الحية التي لم يسبق لها التعرض للمبيدات قد تكون حساسة تماماً. ولا توجد الجينات التي تحمل صفة المقاومة بين أفراد تلك العشائر إلا في حالات نادرة جداً. وغالباً ما يرجع ذلك إلى ما يسمى "تكلفة اللياقة Fitness Cost"، الذي يعني أن الكائنات الحية المقاومة تفتقر إلى بعض الخصائص الأخرى أو المميزات مقابل صفة المقاومة التي اكتسبتها. فعلى سبيل المثال، يمكن ملاحظة نقص في الكفاءة التناسلية أو في قوة الكائن الحي المقاوم بصفة عامة. وفي مقابل لياقة هذه الأفراد

لمقاومة المبيد، فإنها تكون في وضع معيب إذا ما قورنت بمثيلاتها الحساسة حالما يتم استبعاد المبيد. وعلى ذلك فإن الآفة الحساسة يتوافر لديها ميزة انتقائية لأن تعود عشائرها من حيث المبدأ إلى حالتها الأولى من الحساسية في حالة عدم وجود ضغط انتخابي.

وهذه العودة أو الارتداد إلى الحساسية هو الافتراض الأساسي الذي تقوم عليه إدارة السيطرة على المقاومة. ومع ذلك، فإن معدلات الارتداد متباينة وقد تكون بطيئة جداً خاصة في حالة استخدام المبيد لسنوات طويلة. ويُعد ذلك هو أحد الأسباب التي تجعل منع تطور المقاومة أفضل من محاولة علاجها بعد أن تكون قد ظهرت وتطورت.

2-2 آليات المقاومة لفعل المبيدات

تستخدم الآفات الزراعية آليات متنوعة للمقاومة لكي تنجو بعد تعرضها للمواد السامة وتبقى على قيد الحياة. ويمكن أن تتكون وتتطور المقاومة بسهولة أكثر عند استخدام الآفة أليتين أو أكثر من آليات المقاومة في آن واحد. وتندرج آليات المقاومة تحت الفئات التالية:

فقد السمية التمثيلية أو الأيضية (إنزيمية)

تُعد آلية مقاومة الآفات عن طريق تمثيل (استقلاب) المواد السامة وإزالة سميتها أكثر شيوعاً في الحشرات منها في الحشائش والمرضات. وتعتمد هذه الآلية على نظم إنزيمية تُطورها الحشرات لإزالة السموم (التوكسينات) الطبيعية الموجودة في عوائلها النباتية، وفي الدم الذي تبتلعه الحشرات التي تتغذى على الدم. وتشمل هذه النظم الإنزيمية استيريزس، وستيوكروم P450 مونو أكسيجينزس، وجلوتاثيون-إس-ترانسفيريزس. وقد تمتلك الحشرات المقاومة مستويات مرتفعة من إنزيم مُعين أو أشكال مُعدلة للإنزيم الذي يقوم بتمثيل (استقلاب) المبيد بمعدل أسرع بكثير مما يقوم به الإنزيم الغير مُعدل. وفي كلتا الحالتين فإن الحشرة تستطيع إزالة سمية المبيد قبل أن تقتلها.

وتتراوح المقاومة التمثيلية (الناتجة عن تمثيل المبيد) من مقاومة محددة لأحد المركبات إلى مقاومة عامة جداً لمجموعة واسعة من المركبات. وعلى نحو مماثل، فإن مستوى المقاومة الذي تتزود به الحشرة يتراوح ما بين منخفض جداً إلى مرتفع جداً، وقد يتباين من مركب لآخر. وغالباً ما تعمل هذه الآلية على انشطار أو انفصال جزئ من المبيد أو إضافة جزيئات آلية، مثال ذلك، انزيم جلوتاثيون ترانسفيريز الذي يزيل سمية المركب.

وتحدث مقاومة مبيدات الحشائش بآليات متعددة منها رفع معدلات تمثيل المبيد، وهي إحدى آليات المقاومة الشائعة في الحشائش. مثال ذلك، مقاومة مثبطات الاسيتايل-مرافق انزيمي A كربوكسيليز (ACCase)، وأسييتولاكتات سينشيز (ALS)، ونظام البناء الضوئي II (PS2) عن طريق زيادة معدلات تمثيل مبيد الحشائش كما أشارت التقارير.

خفض حساسية الموقع المستهدف

في هذه الآلية يتم تغيير في موقع ارتباط المبيد بحيث لا يستطيع المبيد الارتباط به بصورة فعالة، الأمر الذي من شأنه أن يعمل على إزالة تأثير المبيد أو خفضه بشكل كبير. وهذه الآلية هي الأكثر شيوعاً في

الفطريات والحشائش، كما أنها أيضاً شائعة جداً في الحشرات. وتوجد أربعة أنماط عامة تتعلق بمقاومة الموقع المستهدف في الحشرات هي:

- مقاومة التأثير الصارع (*Kdr*) حيث يتدخل جين مقاومة الصرع ويغير من وظيفة قنوات الصوديوم الحساسة كهربياً في الخلايا العصبية. وهذه إحدى الآليات الشائعة التي تستخدم في مقاومة مييد د.د.ت ومركبات البييرثرويدز، مثال ذلك، بعوضة الأنوفيليس *Anopheles gambiae* والصرصور الألماني *Blattella germanica*. ويوجد العديد من الطفرات التي تنتج سلالات مقاومة للصرع تسمى *Kdr* وأخرى فائقة المقاومة تسمى *Kdr* سوبر.
 - (اسيتايل كولين استريز المعدل *MACE*) حيث يتم تعديل في تركيب أو بناء إنزيم الأسيتايل كولين استريز بحيث لا يُعد يتأثر بالمبيد الحشري. مثال ذلك آلية المقاومة لمبيد بيريميكارب في حشرة من البرقوق *Phorodon humuli*، وهذه الآلية مسؤولة أيضاً عن المقاومة في اكاروس العنكبوت الأحمر *Tetranychus urticae*.
 - (مقاومة مييد الديالدين *Rdi*)، تحول في الموقع المستهدف يعمل على خفض ارتباط الديالدين بمستقبل جابا *GABA* (حمض جاما امينو بيوتريك) وبالتالي إلى حدوث المقاومة. مثال ذلك المقاومة لمبيد الديالدين في البعوضة المنزلية البنية *Anopheles quadrimaculatus*، وفي ذبابة الغنم الاسترالي *Lucilia cuprina*.
 - تحدث مقاومة بكتيريا باسيلس ثورنچينسيس (*Bt*) من خلال آلية فقد الالتصاق المُعتمد على أيونات الكالسيوم (*Cadherin*)، وهذا الالتصاق يلعب دوراً هاماً في ضمان أن الخلايا داخل الأنسجة ترتبط مع بعضها كي تقوم بوظائفها. وتوجد هذه الآلية على سبيل المثال في الفراشة ذات الظهر الماسي *Plutella xylostella* المقاومة لبكتيريا الباسيلس.
- وهناك كثير من الأمثلة بشأن التغيير في الموقع المستهدف لمقاومة مبيدات الحشائش التي تثبط إنزيمات هذه المواقع. وتشمل أهم هذه الأمثلة ما يلي:
- مثبطات إنزيم اسيتولاكتات سينثيز (*ALS*)، التي تؤدي إلى تغيير هذا الإنزيم في الموقع المستهدف في الحشائش.
 - مثبطات أسيتايل-مرافق إنزيمي A كربوكسيليز (*ACCase*).
 - مثبطات نظام البناء الضوئي *PS2*.

خفض النفاذية/الامتصاص

تعمل هذه الآلية للمقاومة على إبطاء نفاذية المبيد الحشري خلال كيوكتل (الجليد) الحشرة المقاومة. ولا تستطيع هذه الآلية بمفردها إلا تكوين مستويات منخفضة من المقاومة. ومع ذلك، فإن إبطاء نفاذية المادة السامة خلال الكيوكتل من شأنه أن يعزز تأثير آليات المقاومة الأخرى بشكل كبير. فعلى سبيل المثال، إذا وجدت حشرة وكان من الصعب اختراق المبيد لجليدها، فإن مقدار مقاومتها قد يصل إلى 25 ضعف، في حين أنه إذا اختزلت نفاذية المبيد إلى الضعفين فإن المقاومة الإجمالية حينئذ تبلغ 50 ضعف.

عزل أو تنحية المبيد

في النباتات (الحشائش) يتم عزل المبيد بعيداً عن الأجزاء الحساسة في النباتات إلى مواقع أخرى ذات قدرة على التحمل، مثل الفجوات أو الحويصلات بحيث لا يحدث تأثيراً في النبات المستهدف على الإطلاق. وهذا النمط من المقاومة يتضح مع مبيدات الحشائش جليفوسات وباركوات و D-2,4. أما في الحشرات (مثل المن وبعوضة الكيولكس، الخ..) فإن الإنزيمات الأيضية يتم تضخيمها بشكل كبير (يصل إلى 15% من بروتينات الجسم الإجمالية) وترتبط بالمبيد الحشري، إلا أن المبيد لا يتم تمثيله ولكن يتم عزله أو تنحيته.

المقاومة السلوكية

تقتصر المقاومة السلوكية على الحشرات والاكاروس (الحلم) والقوارض. وتشير المقاومة السلوكية إلى تغيير أو تعديل في سلوك الآفة مما يجعلها تستطيع أن تتفادى التأثيرات القاتلة للمبيد. وأشارت التقارير إلى حدوث هذه الآلية للمقاومة مع العديد من مجموعات المبيدات الحشرية بما فيها المبيدات الكلورونية العضوية والمبيدات الفوسفورية العضوية والكاربامات والبيروثرويدات. وفي هذه الآلية قد تتوقف الحشرات ببساطة عن الاغذاء عندما تلتقي بمبيدات معينة، أو قد تترك المنطقة التي تمت بها عمليات رش بأحد المبيدات أو تقوم بتعديل سلوكها (مثال ذلك، ربما تتحرك الحشرات نحو السطح السفلي لأوراق النبات المرشوش، أو تتوغل في داخل العرش الخضري للنبات، أو تطير بعيداً عن المناطق المستهدفة). وأشارت التقارير أيضاً إلى وجود المقاومة السلوكية في الفئران.

ولا تلقى المقاومة السلوكية نفس الأهمية التي تلقاها آليات المقاومة الفسيولوجية المذكورة أعلاه، إلا أنه يمكن اعتبارها بمثابة عامل مساعد يؤدي إلى تفادي الجرعات القاتلة من مبيد الآفات.

2-3 العوامل الرئيسية في تطور المقاومة

تتباين مخاطر تطور المقاومة إلى حد كبير بين مجموعات مبيدات الآفات وبداخلها فضلاً عن نوع الآفة، إلا أنها ترتفع بشكل خاص بالنسبة لمبيدات الآفات الانتقائية الموجودة في الوقت الحالي والتي تتميز بطرق تأثير محددة. وبوجه عام، فإن مبيدات الآفات التي تستهدف موقع واحد بمفرده وتستخدم لمرات عديدة ضد عشائر كبيرة من مجموع الآفات التي تنتج أجيال عديدة في السنة، على الأرجح أن تتعرض لمخاطر تطور المقاومة أكثر من تلك المبيدات التي تهاجم مواقع مستهدفة عديدة ويتكرر مرات استخدامها على نحو أقل ضد آفة تتسم بقلة أعداد أجيالها في السنة ومجموع عشائرها منخفضة. وفي الحالة الأولى فإن الضغط الانتخابي يكون عالياً، بينما يكون في الحالة الأخيرة منخفضاً كثيراً. وعلى ذلك، وكما يُقال إن تطور المقاومة لا يكون دائماً كما هو متوقع.

وغالباً ما يتوافر كم هائل من المعلومات عن مبيدات الآفات المتداولة حالياً بشأن ظاهرة المقاومة المتعلقة بمجموعات متنوعة من النباتات والآفات. ويمكن الاستفادة من هذه المعلومات في تقدير مخاطر تطور المقاومة التي قد تنجم عن الاستخدامات الجديدة للمركبات أو الاستخدامات في مواقع جغرافية جديدة. ومع ذلك، فإن تقدير مخاطر تطور المقاومة لمبيدات الآفات الجديدة خاصة إذا كانت تمثل مجموعات كيميائية جديدة تكون أمراً بالغ الصعوبة. غير أن الخبرة المكتسبة من مركبات مماثلة من حيث تركيبها الكيميائي وطريقة فعلها، ومن آفات مشابهة للآفات المستهدفة سوف توفر بعض المعرفة والاستنارة.

ومع ذلك، فإن تقدير مخاطر تطور المقاومة لمبيدات الآفات الجديدة خاصة إذا كانت تمثل مجموعات كيميائية جديدة تكون أمراً بالغ الصعوبة. غير أن الخبرة المكتسبة من مركبات مماثلة في تركيبها الكيميائي وطريقة فعلها، ومن آفات مشابهة للآفات المستهدفة سوف توفر بعض المعرفة والاستنارة. ومع ذلك، لا يزال هناك الكثير الذي ينبغي بحثه ومعرفته. وفي الواقع فإنه يمكن في الوقت الحالي أن يقتصر الأمر فقط على تقدير ما إذا سيكون تطور المقاومة منخفض أم متوسط أم مرتفع.

يمكن تصنيف العوامل التي تؤثر على تطور المقاومة إلى ثلاث مجموعات: العوامل البيولوجية (بيولوجيا الآفة)؛ والعوامل الوراثية (التركيب الوراثي/الجيني للآفة) والعوامل التشغيلية، بما في ذلك الممارسات الزراعية وخصائص مبيدات الآفات واستخداماتها (انظر جدول-1). وبينما يكون من غير الممكن التوقع عن تطور المقاومة بدقة لمركب معين، فإنه يكون من الممكن تقدير المخاطر بصفة عامة من خلال تقييم هذه العوامل لكل حالة تنطوي على المبيد-الآفة-المحصول. وهذا هو السبب في أنه من الأهمية بمكان جمع أكبر قدر ممكن من المعلومات عن بيولوجيا الآفة، وخصائص المركب، واستخداماته، والحالات الخاصة التي يمكن أن يُستخدم فيها هذا المركب. وعلى الأرجح أن يوجد أوجه تشابه بين المركبات والآفات والاستخدامات، إلا أن كل حالة ستكون مختلفة ككل. ومع أخذ كل هذه العوامل في الاعتبار عند وضع برامج لإدارة السيطرة على المقاومة يكون قد تم قطع شوطاً طويلاً نحو ضمان نجاحها.

جدول - 1 العوامل البيولوجية والوراثية والتشغيلية المؤثرة في تطور المقاومة

احتمال تطور المقاومة		العامل
أكبر	أقل	
عوامل بيولوجية		
كبير	صغير	حجم العشيرة
مرتفع	منخفض	الاقتران التناسلي (التكاثري)
أجيال كثيرة في السنة	جيل واحد أو أقل في السنة	دوران الجيل (عدد الأجيال)
لا جنسي	جنسي	نوع التكاثر
كثير	ضئيل	الانتشار
صغير أو معدوم	كبير	بنك بذور
سهل	صعب	تمثيل (استقلاب) المبيد
مُفرد، محدد	متعددة	عدد المواقع المستهدفة للمبيد
واسع	ضيق	مدى عوائل الآفة
عوامل وراثية/جينية		
موجودة	غير موجودة	وجود جينات المقاومة
عديدة	واحدة	عدد آليات المقاومة
كثير	منخفض	تكرار جين المقاومة
سائدة	متنحية	سيادة جينات المقاومة
جيدة	ضعيفة	لياقة الأفراد المقاومة "R"
جيدة	ضعيفة	توفير الحماية بواسطة جين المقاومة "R"
إيجابية	سلبية أو معدومة	المقاومة المشتركة

احتمال تطور المقاومة		العامل
أقل	أكبر	
معدوم غير موجودة	جسيم موجودة	الانتخاب السابق لجين المقاومة جينات التعديل (المُعدلات)
عوامل تشغيلية		
ضيق	واسع	مدى نشاط المبيد
المعدل الموجود على بطاقة البيانات؛ يقتل الأفراد المقاومة متغايرة الزيغوت (إذا كان جين المقاومة R غير تام السيادة)	أقل من المعدل على بطاقة البيانات؛ تنجو الأفراد متغايرة الزيغوت وتبقى حية. أكبر من المعدل على بطاقة البيانات؛ تنجو فقط بعض الأفراد المقاومة متماثلة الزيغوت وتعيش وتتكاثر (خاصة إذا كانت هجرتها محدودة)	معدل استخدام المبيد
جيدة	ضعيفة	التغطية بالمبيد
تأثير هذا العامل متفاوت فقد يُزيد أو يُقلل مخاطر المقاومة		جهازية المبيد
منخفض	مرتفع	تكرار المعاملات
غير موجودة	موجودة	وجود آفات ثانوية
(يتم معاملة الآفة المستهدفة فقط)	يتم أيضا معاملة الآفات غير المستهدفة (احتمال قائم)	
منفرد	متعددة	معاملة أطوار الآفة بمبيدات ذات صلة كيميائية
تأثير هذا العامل متفاوت فقد يُزيد أو يُقلل مخاطر المقاومة		نسبة العشائر المعاملة
فترات قصيرة	فترات طويلة	ثبات المبيد
واحد	متعددة	عدد المحاصيل المعاملة
انقضاء فترات فاصلة أو الزراعة في مناطق جغرافية مختلفة	زراعة محاصيل بين أنواع نباتية أخرى؛ لا يوجد انقطاع بين الزراعات؛ مستمرة	التتابع المحصولي
تكتيكات متعددة (كيميائية، بيولوجية، زراعية)	استخدام طريقة أو مركب بمفرده بصفة مستمرة	طرق مكافحة الآفة
مبيدات انتقائية (متخصصة)، لا تؤثر على الأعداء الطبيعية	مبيدات ليست انتقائية (غير متخصصة)، الأعداء الطبيعية أيضا تقتل	التأثيرات على الكائنات غير المستهدفة

2-3-1 العوامل البيولوجية (الاحيائية)

حجم العشيرة

يُعد حجم عشيرة الآفة عاملاً رئيسياً في تطور المقاومة. ففي الحشرات كلما زاد حجم العشيرة، كلما زادت الفرصة لظهور المقاومة. وحينما يكون حجم العشيرة كبيراً فإن عدد الأفراد التي تنجو وتبقى على قيد الحياة بعد تطبيق المبيد قد يكون كبيراً نوعاً ما، حتى لو كانت النسبة المئوية للأفراد المقاومة منخفضة. وبما أن تكرار المعاملات بالمبيد عادة ما يؤدي إلى قتل معظم الأفراد الحساسة، فإن فرص الأفراد المقاومة التي تنجو وتبقى على قيد الحياة في أن تقوم بالتزاوج وتمير جينات المقاومة لنسلها تكون جيدة. وعلى النقيض، إذا كان حجم عشيرة الآفة صغيراً فإن فرصة نجاح عمليات التزاوج للأفراد

المقاومة القليلة العدد التي تنجو وتبقى على قيد الحياة تكون ضئيلة، ومن ثم فإن تطور المقاومة يكون بطيئاً.

وفي مجاميع عشائر الفطريات فإن الوضع يكون مماثلاً، فمعظم عشائر الممرضات الفطرية "الطبيعية" تحتوي على نسبة ضئيلة جداً من السلالات المقاومة، وإجراء المعاملة بأحد المبيدات الفطرية سوف يؤدي إلى عملية انتخاب لهذه السلالات، حيث لا يتم إزالة جميع السلالات الحساسة تماماً (لعدم كفاية تطبيقات الرش). وعلى ذلك، فإن العشائر المتبقية بعد رش المبيد الفطري ستحتوي على نسبة أعلى من السلالات المقاومة، إلا أنها لن تكون جميعها مقاومة. وفي حالة غياب خطة للسيطرة على المقاومة، فإن هذه العملية سوف تتكرر مع كل معاملة تالية بالمبيد حتى تصبح عشيرة الآفة بها سلالات مقاومة تكفي لأن تسبب مشكلة. ويمكن العمل على إبطاء هذه العملية من خلال إتاحة الفرصة لدخول سلالات حساسة من خارج المنطقة المعاملة.

وخلاصة ذلك الأمر، أن إدارة السيطرة على المقاومة ما هي إلا مسألة بيانات عددية أو أرقام، حيث أن حجم مشكلة المكافحة يتعلق مباشرة بعدد عشائر السلالات المقاومة. فإذا كانت الإصابة بالآفة منخفضة (أي أن الكثافة العددية لأفراد الآفة صغيرة نسبياً)، فمن غير المحتمل أن تكون هناك مشكلة في المكافحة حتى لو كان هناك مستوى عالٍ من المقاومة (أي أن أفراد الآفة تتسم بأنها شديدة المقاومة). وعلى النقيض، إذا كانت الإصابة بالآفة شديدة، فستكون هناك مشكلة واضحة في المكافحة الحقلية حتى لو كان مستوى المقاومة لفعل المبيد متوسط.

الاقتدار التكاثري (الكفاءة التناسلية)

إن الكفاءة التناسلية (أو الاقتدار التكاثري) الذي يشير إلى أعداد النسل الناتج، كالبذور أو الأبواغ (الجراثيم) لكل من الآباء له تأثير كبير على تطور المقاومة في عشائر الآفة. بالنسبة لكل الآفات التي تتكاثر جنسياً والتي يتم معاملتها بالمبيدات، أو بعوامل أخرى مماثلة، يلاحظ أنه كلما زاد عدد النسل الناتج لكل كائن حي كلما ارتفع عدد الأفراد المقاومة المتواجدة.

ويرجع سبب ذلك في الحشرات إلى أن إنتاج أعداد كبيرة من النسل يُزيد من فرصة وجود المزيد من الأفراد التي تحمل جين المقاومة، ومن ثم، إذا استمر استخدام مبيدات الآفات فإنه سيُتيح الفرصة لانتخاب الأفراد التي تحمل واحد أو اثنين من الألائل (النسخ البديلة للجين) المقاومة. وكلما زادت أعداد الأفراد الحاملة لجينات المقاومة التي تبقى على قيد الحياة بعد المعاملة بالمبيد، كلما زاد احتمال قيام الأفراد متغايرة الزيجوت أو متماثلة الزيجوت بالتزاوج، مما قد يؤدي إلى زيادة تكرار جينات المقاومة في عشائر الآفة.

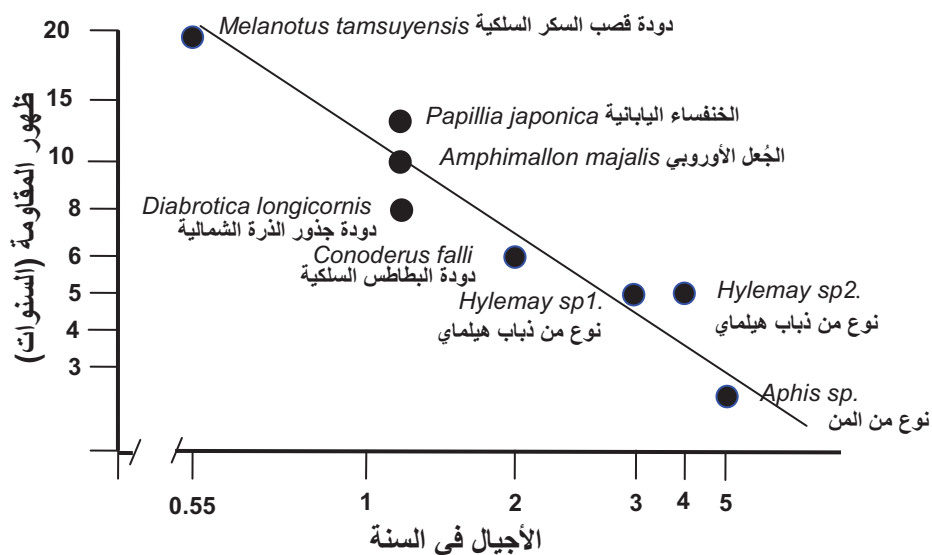
وفي الحشائش، فإن الأنواع الحولية ذات الإنتاج العالي للبذور والتنوع الوراثي الكبير لديها فرصة أفضل لتطور المقاومة منها في الأنواع ذات الإنتاج الأقل للبذور والتنوع الوراثي المنخفض.

وفي الفطريات، فإن معظم عمليات الإكثار أو التضاعف تحدث بواسطة الأبواغ (الجراثيم) اللاجنسية التي تتحرر من بقع الإصابة المرضية الشديدة بأعداد ضخمة وتنتقل بواسطة الهواء أو الماء (كقطيرات المياه المتناثرة مثل ماء الري بالرش) أثناء الموسم. ويمكن لهذه الأبواغ أن تتحرك لمسافات تتراوح من

أمتار قليلة إلى مئات عديدة من الأميال، حيث يتوقف ذلك على الممرض. أما الأبواغ (الجراثيم) الجنسية، فهي تتكون، حيثما يتم إنتاجها، عادة في أواخر الموسم وتتحرك في أوائل الموسم التالي بعد قضاء الشتاء ساكنة. ويمكن أن تُشكل هذه الجراثيم مصادر هامة لتغيرات جديدة في الفطر، إلا أن دورها في تطور المقاومة غير معروف.

دوران الجيل

يلعب دوران الجيل (أي عدد الأجيال في السنة) دوراً هاماً في سرعة تطور المقاومة. وفي الحشرات والحشائش والممرضات النباتية فإن تطور المقاومة سيكون أبطأ نسبياً في حالة وجود جيل واحد فقط في السنة عن ما إذا كان عدد الأجيال أكثر من ذلك، لأن الانتخاب سيتم مرة واحدة فقط في السنة. ويعرض شكل (2) مقارنات للمعدلات التي ظهرت عندها مقاومة بعض العشائر الحشرية المختلفة لمبيد الألدرين/الديالدين، والتي تراوحت ما بين عامين لحشرة المن *Aphis sp.* التي لها خمسة أجيال في السنة، وعشرين عاماً لدودة قصب السكر السلكية *Melanotus tamsuyensis* وهي حشرة تستغرق دورة حياتها عامين.



شكل - 2 العلاقة بين عدد الأجيال في السنة للأفة الحشرية وظهور المقاومة بالانتخاب نتيجة معاملة التربة بالألدرين/الديالدين [المصدر: مجلس البحوث الوطني (1986)NRC]

نوع التكاثر

يمكن أن يساهم كلا من التكاثر الجنسي واللاجنسي في تطور المقاومة. حيث يوفر التكاثر الجنسي الحافز لإعادة ترتيب الجينوم (مجموع الجينات في الكائن). ومع ذلك، فإنه بمجرد أن تتكون المقاومة بالانتخاب فمن المرجح جداً أن تنتشر بسرعة عن طريق التكاثر اللاجنسي. مثال ذلك، في حشرة المن معظم التكاثر الذي يحدث على مدار العام تكاثر لاجنسي، ومعظم الممرضات الفطرية تنتشر من خلال الأبواغ اللاجنسية (الجراثيم الكونيدية)، ويكون النسل الناتج بصفة أساسية عبارة عن نسل (مثيل وراثي)

لآبائهم. فإذا كان جزء من أحد عشائر المن أو الفطر يمتلك جين المقاومة، فإنه ينجو ويبقى على قيد الحياة بعد المعاملة المكثفة بمبيد الآفات في حين أن الجزء الحساس من مجموع العشيرة سوف يُقتل بعد هذه المعاملة. وقد يتزايد الجزء المقاوم الذي بقي على قيد الحياة على نحو سريع، مما يكون باعثاً على حدوث تطور سريع في المقاومة مالم يكن هناك برنامج لإدارة السيطرة على المقاومة داخل حيز التنفيذ.

ويعتبر وجود دورة التكاثر الجنسي في الممرضات النباتية في كثير من الأحيان عاملاً لزيادة احتمال تطور المقاومة بواسطة التراكيب الجينية الجديدة التي تتكون. وعلى النقيض، وبنفس الدرجة من احتمال حدوث المقاومة، فإنه من الممكن أن مثل هذه التراكيب الجنسية تعمل على كسر التسلسل الجيني وتؤدي في نهاية الأمر إلى فقد عوامل المقاومة. وفي الممارسات العملية اتضح أن ظاهرة المقاومة لأغلب المبيدات الفطرية موجودة في عشائر الممرضات الغير معاملة ولكن على مستوى منخفض جداً. ومن ثم فإن المقاومة تظهر بعد ذلك بالانتخاب مع التعرض للمبيد الفطري. وفي الحشائش، فإن احتمال انتشار المقاومة يكون أقل في الأنواع التي بها تلقيح ذاتي أو التي تتكاثر خضرياً منها في الأنواع التي بها تلقيح خلطي.

الانتشار أو الانتار

قد تؤثر حركة عشائر الآفات سواء كانت طويلة المدى أو نسبياً قصيرة المدى على حساسية عشائر معينة في إحدى الحقول أو المناطق. ويمكن أن تنتشر الحشرات أو تنتثر الأبواغ (الجراثيم) والبذور بواسطة الهواء، وقد تنتقل عن طريق التربة أو البذور المستوردة أو المعدات أو جذور النباتات أو الحاويات أو المنتجات الزراعية، الخ. وقد تنتشر الحشرات أيضاً خلال طيرانها إلى مناطق جديدة. وفي الحشائش، فإن احتمال استمرار المقاومة أو انتشارها سيكون أكبر كثيراً في الأنواع التي تنتثر بذورها بسهولة بواسطة الرياح. أما في الحشرات والأمراض، فإن وفود الأفراد متغايرة الزيغوت لصفة المقاومة أو الأفراد الحساسة ستقل من حدة المقاومة في العشيرة محل الاهتمام، حيث أن الحشرات الوافدة يمكن أن تقوم بالتزاوج مع الأفراد التي بقيت على قيد الحياة بعد المعاملة وتخفف من حدة أعداد الأفراد المقاومة. وكذلك فإن أبواغ (جراثيم) الممرض الوافدة تُكوّن بقع إصابة وتنتج مستعمرات جديدة من أنواع حساسة. وهذا هو الأساس في استخدام المناطق العازلة (باعتبارها مأوى أو ملاذ) للحفاظ على عشائر الآفة الحساسة. ومن ناحية أخرى، فقد يحدث وأن يتم إدخال جينات المقاومة في عشائر بعض الآفات عن طريق الأفراد التي تهاجر من إحدى المناطق التي تمثل فيها ظاهرة المقاومة مشكلة. على سبيل المثال، تلك السلالة الحشرية المقاومة التي يتم انتخابها في إحدى الدفيئات (الصوب الزراعية) ثم تتحرك (تهاجر) إلى الحقول المحيطة وتُدخل جين المقاومة إلى العشائر المتواجدة بهذه الحقول.

في الحالات التي تكون فيها صفة المقاومة متنحية من الناحية الوظيفية، فإن أفراد قليلة فقط في العشيرة هي التي تكون مقاومة متماتلة الزيغوت لصفة المقاومة (RR) وتستطيع أن تنجو بعد المعاملة بالمبيد الحشري وتبقى على قيد الحياة. وحيث أن الأفراد الحساسة متماتلة الزيغوت لصفة الحساسية (SS) تتحرك إلى داخل المنطقة وتقوم بالتزاوج مع الأفراد المتنحية على قيد الحياة، فإن كثير من أفراد النسل الناتج ستكون متغايرة الزيغوت لصفة المقاومة (RS) أو تكون أفراد حساسة (SS). فإذا تم إجراء معاملة بالمبيد وكانت جرعة المبيد المستخدمة صحيحة والتغطية جيدة، فإن الأفراد الحساسة (SS)، ومعظم الأفراد، إذا لم يكن كلها، متغايرة الزيغوت لصفة المقاومة (RS) سوف تُقتل. ومع ذلك، إذا حدث

وأن استخدمت جرعة أقل و/أو كانت تغطية المبيد رديئة، فإن تطبيقات المبيد اللاحقة يمكن أن تؤدي إلى بقاء أفراد متغايرة الزيغوت لصفة المقاومة (RS) على قيد الحياة، الأمر الذي من شأنه أن يعمل على انتخاب أسرع للسلالة المقاومة.

بنك البذور

على الأرجح أن تظهر المقاومة على نحو أبطأ في أنواع الحشائش التي تكون فترات سكون بذورها أطول، وهذا يعني وجود عدد أكبر من البذور في التربة ساكنة حيث تحتاج لبعض الوقت لتنبت. وفي حين أن البذور التي تنتج بعد كل معاملة بمبيد الحشائش قد تحتوي على نسبة أعلى من البذور التي تحمل صفة المقاومة، فإن الحصول على بذور حساسة من بنك البذور سوف يعمل على تقليل مستويات المقاومة.

تمثيل (استقلاب) مبيد الآفات

يُعد التزايد في الانهيار التمثيلي لمبيد الآفات إحدى آليات المقاومة الموجودة في بعض الكائنات الحية وعلى الأخص الحشرات والحلم (أكاروس) (انظر 2-2). والمبيدات التي يتم تمثيلها بسهولة نسبياً عن طريق عمليات التحول الحيوية المألوفة تكون أكثر عرضة لمخاطر أكبر حيث أنها تصبح أقل فعالية خلال تطور المقاومة من تلك المبيدات التي من الصعب أن تفقد سميتها داخل الكائن الحي.

عدد المواقع المستهدفة من قبل المبيد

تتطور المقاومة بسرعة أكبر عندما يكون لدى مبيد الآفات موقع مستهدف واحد. أما إذا كان لدى المبيد مواقع مستهدفة متعددة، فلا بد وأن تعمل الآفة على مقاومة فعل المبيد في كافة هذه المواقع. وفي الحالة التي يستهدف المبيد فيها موقع واحد فقط، فإن حدوث طفره واحده في أحد المورثات الجينية يمكن أن يؤدي إلى تكوين المقاومة.

نطاق عوائل الآفة

الآفات التي تتمتع بمدى واسع من العوائل المضيفة، وتصيب عدد أكبر من المحاصيل، قد تكون لديها مخاطر أكبر لتطوير المقاومة من تلك الآفات ذات العوائل المحدودة. وهذا الأمر يتصل بصفة خاصة بالمبيدات الحشرية لأن نوع واحد من الحشرات يمكنه إصابة محاصيل متعددة مختلفة. وفي كثير من الأحوال، فإن الاستراتيجيات التي توضع لمحصول معين لا تأخذ في اعتبارها قرابه من المحاصيل المجاورة أو تعاقب المحاصيل العائلة (المضيفة) أو لحركة الحشرة، وبالتالي عدم الدقة في تقدير عدد المعاملات التي تستقبلها الآفة الحشرية. فعلى سبيل المثال، ربما يستقبل نوع معين من الحشرات ثلاث أو أربع معاملات إبادية على القطن، ومن أربع إلى خمس معاملات أخرى على محصول خضروات مجاور أو لاحق. حينئذ فإن المتخصص في القطن يرى من وجهة نظره أنه تم ما بين ثلاث وأربع عمليات انتخاب للآفة، في حين أن المتخصص في الخضروات يرى أنه تم أربع إلى خمس عمليات انتخاب فقط للآفة، ولكن في واقع الأمر أن الحشرة استقبلت من سبع إلى تسع معاملات وبالتالي تمت ما بين سبع إلى تسع عمليات انتخاب للآفة. وهذا هو السبب في أنه من المهم، بالنسبة لمبيدات الآفات، وعلى الأخص المبيدات الحشرية، القيام بتصميم استراتيجيات لإدارة السيطرة على المقاومة تُركز على المنطقة في المقام الأول فضلا عن التركيز على المحصول.

أما فيما يتعلق بالمبيدات الفطرية، فإن هذه الاعتبارات تُعد أقل أهمية، حيث أن الممرض النباتي دائماً ما يصيب محاصيل محددة، وغالباً ما تنشأ المشاكل فقط إذا كانت المحاصيل المجاورة هي نفسها كالمحصول المُعامل. ومع ذلك، فإن تحديد برامج للرش حسب المنطقة الجغرافية أفضل من تحديدها حسب الزراعات القائمة، أمر يستحق أن يوضع في الاعتبار. ومن الناحية النموذجية فإن أفضل أسلوب هو تنسيق برامج تطبيقات الرش وذلك للحد من الضغط الانتخابي على الممرض بسبب التعرض المستمر للمبيد الفطري.

2-3-2 العوامل الوراثية /الجينية

وجود جينات المقاومة

لكي يتم انتخاب صفة المقاومة في عشائر آفة ما، فلا بد وأن بعض أفراد هذه العشيرة على الأقل تحمل جين المقاومة. وتعتمد شدة المقاومة وسرعة تطورها في عشيرة الآفة على فعالية ذلك الجين (أو الجينات) في حماية الآفة. وبشكل عام، كلما زادت الحماية التي يوفرها جين (أو جينات) المقاومة، كلما انخفضت لياقة الآفة في صفات أخرى مقابل صفة المقاومة، وكلما زاد تكرار جين المقاومة وزادت نسبة الأفراد التي تحمله في العشيرة كلما كان نجاح الانتخاب أكبر وتكوين سلالة مقاومة أسرع.

عدد آليات المقاومة

كما هو مذكور آنفاً (انظر 2-2)، توجد آليات للمقاومة متعددة مما يسمح للآفة الزراعية أن تنجو وتبقى على قيد الحياة بعد تعرضها للمادة السامة، وأن المقاومة يمكن أن تتطور بشكل أكثر سهولة عندما يتوافر لدى الكائن الحي أكثر من آلية من هذه الآليات. وفي الآفات الحشرية، على وجه الخصوص، توجد أمثلة كثيرة بشأن استخدام هذه الآفات لأكثر من آلية لتكوين وتطوير المقاومة، وقد تكون إحدى هذه الآليات أكثر وضوحاً من بقية الآليات الأخرى في مقاومة فعل المبيد.

وقد يؤدي التأثير المشترك لآليتين من آليات المقاومة أيضاً إلى زيادة شدة المقاومة بشكل كبير. فعلى سبيل المثال، إذا كانت هناك حشرة مقاومة لفعل أحد المبيدات الحشرية بمقدار عشرة أضعاف عن طريق قدرتها على إزالة سمية المبيد بواسطة الإنزيمات، وبمقدار ضعفين بسبب انخفاض نفاذية الجليد للمبيد، فإن إجمالي مستوى المقاومة يمكن أن يرتفع إلى 20 ضعفاً فضلاً عن أن يكون 12 ضعف (وبالنسبة للمبيدات الفطرية، فإن مثل هذه المضاعفات الإضافية ليست ذو صلة). بالإضافة إلى ذلك فإنه في حالة توافر آليات للمقاومة متعددة ومختلفة مجتمعة في آن واحد في ذات الكائن الحي فإن ذلك قد يؤدي إلى مقاومة أكثر من مجموعة من المجموعات الكيميائية التي تتبعها المبيدات. ويسمى هذا النوع من المقاومة بالمقاومة المتضاعفة أو المتعددة.

تكرار جين المقاومة

تكرار الجين (غالباً ما يشار إليه بتكرار الأليل) عبارة عن النسبة لجميع نسخ الجين الذي يتكون من بديل جيني معين (أو أليل). وتكرار أليل المقاومة له تأثير كبير في تطور المقاومة. وفي معظم الأحوال فإن تكرار الأفراد متماثلة الزيغوت (متماثلة الألائل) المقاومة لمبيد جديد يكون منخفض جداً في مجموع عشيرة الآفة، حيث يصل على سبيل المثال إلى 10^{-4} أو أقل، بينما قد يكون تكرار الأفراد متغايرة الزيغوت (متغايرة الألائل) لصفة المقاومة أعلى في العشيرة. وقد تؤثر عوامل أخرى في انتخاب الأفراد

المقاومة في العشيرة. وبشكل عام، كلما زاد تكرار جين المقاومة، كلما كان ظهور وتطور المقاومة على نحو أسرع.

بالنسبة للفطريات فإن الوضع ككل قد يكون مختلفاً بعض الشيء باستثناء الفطريات البيضية Oomycetes (تتضح على نحو مميز في فطريات أمراض البياض الزغبي) التي توجد في حالة أحادية الكروموسومات (هابلويد). وعلى ذلك فإن انتخاب سلالات مقاومة من العشائر الطبيعية نتيجة حدوث الطفرات يعني قلة أهمية الضغط الانتخابي بالنسبة لها.

سيادة جين (أو جينات) المقاومة

يمكن أن تتراوح جينات المقاومة ما بين سائدة وشبه سائدة ومتنحية. فإذا كانت إحدى الصفات سائدة أو شبه سائدة، فإن أحد الأبوين فقط لابد وأن يحمل هذه الصفة التي ستورث ويعبر عنها بصورة تامة أو جزئية في النسل الناتج. أما إذا كانت الصفة متنحية فيجب أن يحمل كلا الأبوين هذه الصفة. وعندما تكون صفة المقاومة سائدة وراثياً، فإنها تترسخ وتنتشر على وجه السرعة داخل العشيرة، وحينئذ يكون من الصعب السيطرة عليها. ولحسن الحظ فإن معظم آليات المقاومة (على سبيل المثال آلية مقاومة الصرع *kdr*) يتم التحكم بها بواسطة الجينات المتنحية أو شبه السائدة، الأمر الذي من شأنه أن يزيد من فرصة السيطرة على العشائر المقاومة. فمثلاً في حالة المبيدات الفطرية المحتوية أميد حمض الكربوكسيليك، فإن صفة المقاومة في فطر البياض الزغبي *Plasmopara viticola* على كروم العنب متنحية، وبذلك تكون الأفراد متماثلة الزيغوت (متماثلة الألائل) هي التي تكون مقاومة فقط. ويعتقد أن هذا هو تفسير لماذا لا تتطور ظاهرة المقاومة في عشائر الفطر *Plasmopara viticola*.

وفي الحشرات، قد يمكن تهيئة الجينات السائدة أو المتنحية بشكل غير تام وظيفياً لكي تؤدي وظيفة الجينات السائدة، ويحدث ذلك عندما تتعرض الأفراد التي تحمل هذه الجينات لمعدلات منخفضة من جرعات المبيد الحشري. وقد تكون هذه الجرعات المنخفضة بسبب التعمد في استخدام معدلات أقل بهدف خفض التكلفة، أو لعدم التغطية الكافية بالمبيد سواء للنبات أو المنطقة المعاملة، أو تعرض الآفة لمتبقيات المبيد بعد انهيارها على الأسطح المعاملة. وحيثما يحدث ذلك، فإن الأفراد متغايرة الزيغوت (متغايرة الألائل) لصفة المقاومة تنجو وتبقى على قيد الحياة وتنتقل جينات المقاومة التي تحملها عندما تتزوج مع أفراد أخرى متغايرة الزيغوت أو حساسة.

لياقة الأفراد المقاومة "R"

ربما تعاني الأفراد التي تحمل جين المقاومة من ما يعرف "بتكلفة اللياقة" (افتقار الكائن الحي المقاوم لبعض الخصائص الأخرى مقابل صفة المقاومة) مثل قلة الحيوية و/أو اختلاف التوقيت في دورة الحياة، الأمر الذي يجعل من الصعب حدوث التزاوج مع أفراد لا تحمل جين المقاومة "R". وإذا كانت تكاليف اللياقة لجين المقاومة منخفضة، فإن جينات المقاومة قد تتراكم بشكل سريع جداً في عشيرة الآفة. ومع ذلك، إذا كانت تكاليف لياقة الآفة المقاومة مرتفعة، فإنه فقط في حالة وجود المبيد سيكون للأفراد المقاومة ميزة هائلة تتفوق بها على الأفراد الحساسة، من حيث لياقتها في مقاومة فعل هذا المبيد. أما في حالة عدم وجود المبيد، فقد تكون صفات المقاومة غير قادرة على المنافسة وتُفقد بسرعة كبيرة. وهذا

العامل قد يجعل من استخدام التناوب بين مجموعات المبيدات أداة ناجحة في إدارة السيطرة على المقاومة.

ومع ذلك، فإنه لا يكون الحال هكذا دائماً بأن تعاني الأفراد المقاومة من تكلفة اللياقة. فمثلاً في المبيدات الفطرية، من الخطأ افتراض أن الفطريات المقاومة ستكون أقل لياقة من الفطريات الحساسة لأن هذا ليس هو الحال دائماً. ومن الممكن أيضاً للأفراد الأقل لياقة أن تحدث بها طفرات وتتحور ويتم انتخابها بعد ذلك لمزيد من اللياقة.

توفير الحماية بواسطة جينات المقاومة "R"

عندما يوفر جين المقاومة درجة عالية من الحماية للآفة ضد المبيد، فمن المحتمل جداً أن تستطيع الأفراد التي تحمل ذلك الجين أن تنجو بعد المعاملة بالمبيد وتبقى على قيد الحياة وأن تورث جين المقاومة للجيل التالي. ومع ذلك، إذا كان جين المقاومة لا يستطيع سوى أن يوفر مستوى متوسط من الحماية فقط، فإن الأفراد التي تحمل هذا الجين سوف يتم حمايتها من جرعات المبيد المنخفضة وليس من الجرعات العالية. وهذا سبب آخر للتأكيد على ضرورة استخدام معدلات جرعات المبيد كاملة وفقاً لبطاقة بيانات العبوة، علاوة على تطبيق أفضل تغطية ممكنة للأسطح المعاملة بالمبيد. حيث أن استخدام جرعات أقل من الموصى بها أو إجراء تغطية رديئة يعمل على تراكم جينات المقاومة في عشيرة الآفة.

المقاومة المشتركة

تشير المقاومة المشتركة إلى أن مقاومة الآفة لأحد المبيدات تجعلها مقاومة لمبيد آخر حتى ولو لم تكن تلك الآفة قد تعرضت لهذا المبيد الأخير من قبل. ومن ثم فإن استخدام هذا المبيد يزيد من مخاطر المقاومة. وتحدث المقاومة المشتركة بسبب وجود مركبين أو أكثر يعملون على نفس الموقع المستهدف و/أو يتأثرون بنفس آلية المقاومة. وتتكون المقاومة المشتركة على نحو أكثر شيوعاً مع المركبات التي لها نفس طريقة الفعل، والتي عادة ما تكون، وليس دائماً، من نفس المجموعات الكيميائية أو ذات صلة كيميائية ببعضها. وقد تكون المقاومة المشتركة تامة أو جزئية (إذا كان أكثر من آلية واحدة مسؤولة عن المقاومة).

ويمكن أن تؤثر بعض آليات المقاومة على مركبات تتبع مجموعات كيميائية مختلفة، غير أن هذه الظاهرة تقتصر إلى حد كبير على المبيدات الحشرية. فعلى سبيل المثال، يتأثر كلا من مبيدات الـ d.d.t. والبيروثرويدات بالجين المقاوم للصرع *kdr* الذي يتداخل مع قنوات الصوديوم في الخلايا العصبية. وقد يؤدي الاستخدام المكثف للبيروثرويدات على إحدى عشائر الآفات التي سبق وأن كانت تعاني من مشكلة مقاومة الـ d.d.t.، إلى تكوين وتطور المقاومة للبيروثرويدات في هذه العشيرة.

وفي بعض الحالات قد تحدث مقاومة مشتركة سلبية، وذلك عندما تجعل إحدى آليات المقاومة الكائن الحي مقاوماً لأحد المبيدات، في حين أنها تزيد من حساسيته لمبيد آخر.

الانتخاب السابق لجين المقاومة

ربما تعمل عمليات الانتخاب السابقة لجينات المقاومة على تسهيل تكوين المقاومة لمركبات جديدة، حيث أن الاستخدام السابق على الأرجح أن يؤدي إلى زيادة تكرار جين المقاومة في عشيرة الآفة. غير أن ذلك

لا يعني بالضرورة أن المركب الجديد سيكون غير فعال أو أن تطور المقاومة تجاهه سيحدث بشكل سريع. فذلك يعني ببساطة أن احتمال تطور المقاومة يكون أعلى مما لو كان هذا المركب ليس له مركبات ذات صلة استخدمت من قبل. ومع ذلك، إذا كان هناك مستوى عالٍ من المقاومة المشتركة وكانت توجد مشكلة خطيرة للمقاومة في الماضي، فإن احتمال تطور المقاومة على نحو سريع تجاه المركب الجديد يكون عالياً.

جينات التعديل (المُعدلات)

قد تكون جينات المقاومة ضارة للآفات التي تحملها وتؤثر عليها بدرجات قد تكون قليلة أو كبيرة. غير أنه مع مرور الوقت والانتخاب المتواصل قد يمكن التغلب على اللياقة المنخفضة للأفراد المقاومة عن طريق جينات إضافية أو مُعدلات جينية مرتبطة بتحسين اللياقة. وفي بعض الحالات، يتم التغلب بصورة تامة تقريباً على تكاليف اللياقة لجين المقاومة؛ حيث يستمر الجين المقاوم في الظهور في عشائر الآفة، في حين أن الارتداد إلى الجين الأصلي الحساس يحدث ببطء أو قد لا يحدث على الإطلاق. وفي حالات أخرى، لا يمكن التغلب على تكاليف اللياقة ويحدث الارتداد إلى الحالة الحساسة الأصلية، في حالة غياب عملية الانتخاب، على نحو سريع إلى حد ما. ودور جينات التعديل (المُعدلات) يكون مفهوماً على نحو أفضل في الحشرات والحشائش. أما في الفطريات، فلم يتم سوى إجراء أبحاث قليلة نسبياً تتعلق بجينات التعديل أو المُعدلات، رغم أنه من المعروف أن المقاومة يمكن أن تظهر ضد فعل المبيدات الفطرية المثبطة لنزع الميثيل كنتيجة لتراكم جينات كثيرة ذات التأثيرات البسيطة، فضلاً عن كونها ترجع إلى الجينات الرئيسية أو الجينات الرئيسية مجتمعة مع المُعدلات الجينية.

2-3-3 العوامل التشغيلية

مدى نشاط مبيد الآفات

تُعد مبيدات الآفات واسعة المدى التي تكون فعالة ضد نطاق عريض من الآفات أو الأنواع هي الأكثر احتمالاً في إحداث مشاكل المقاومة من تلك المبيدات ضيقة المدى. ويرجع ذلك لسبب بسيط هو أن هذه المبيدات عادة ما يتكرر استخدامها كثيراً في منطقة معينة حيث يتطلب الأمر مكافحة أنواع متعددة من الآفات. وفي معظم المحاصيل الزراعية حيث توجد آفات مستهدفة أخرى يلزم مكافحتها يكون من الأفضل استخدام المبيدات ضيقة المدى، لأن تكرار استخدامها في هذه الحالة سيكون أقل كثيراً، وبالتالي فإن الضغط الانتخابي سيكون هو أيضاً أقل.

ويجب أن يكون استخدام مبيدات الآفة واسعة المدى بحرص وحذر شديدين حيث أنها قد تتسبب في حدوث انتخاب الأفراد المقاومة من أنواع الآفات غير المستهدفة التي يتزامن وجودها مع الآفة المستهدفة في المنطقة المعاملة، عند مستويات دون الحد الحرج للمعاملات. مثال ذلك، استخدام أميد حمض الكربوكسيليك لمكافحة البياض الزغبي على العنب، وهو مبيد فطري ضيق المدى جداً، ومن ثم فإنه لن يؤثر على أي مرض آخر على العنب ولن يُمارس أي ضغط انتخابي على غير البياض الزغبي. وعلى النقيض من ذلك، عندما استخدمت المبيدات الفطرية DMI (مثبط نزع الميثيل) أو QoI (مثبطات خارجية للكوبالون) على محاصيل الحبوب لمكافحة أحد الأمراض المحددة، إلا أنها مارست ضغطاً انتخابياً شديداً على أمراض أخرى موجودة بسبب النشاط واسع المدى لتلك المجموعة من هذه المبيدات

الفطرية. وقد تتفاقم مثل هذه الحالة إذا كان هناك آفة ثانوية تحتاج مكافحتها إلى معدل أعلى من جرعة المبيد التي تحتاجها الآفة المستهدفة الأساسية أثناء المعاملة. وإذا حدث وأن أصبحت الآفة الثانوية تتسبب في مشكلة رئيسية فيما بعد فربما تتطور المقاومة بسرعة نوعاً ما.

معدل استخدام المبيد

مع أنه لا يتم تحديد معدلات استخدام مبيدات الآفات بالارتباط مع حالات المقاومة، فمن المهم تطبيق المعدلات الموصى بها وليس جرعات أقل. ومن الناحية النموذجية، فإن هذه المعدلات ينبغي أن تقضي على كافة الأفراد الحساسة، وبصفة أساسية على كل الأفراد المقاومة متغايرة الزيغوت (متغايرة الألائل) لصفة المقاومة في عشيرة الآفة، في الوقت الذي ينبغي أن يحدث فيه اختزال أعداد الآفة إلى تحت الحد الاقتصادي الحرج. وإذا حدث وأن كانت الجرعة المستخدمة منخفضة أكثر مما ينبغي، فإن الأفراد الحساسة سوف يتم القضاء عليها، غير أن الأفراد المقاومة جزئياً متغايرة الزيغوت (متغايرة الألائل) التي تحمل صفة المقاومة غير تامة السيادة (RS) فإنها سوف تنجو وتبقى على قيد الحياة. وبالإضافة إلى ذلك، فإن هذه الجرعات المنخفضة بشكل مفرط سوف تؤثر على جين المقاومة بحيث تجعله سائداً من الناحية الوظيفية، وبالتالي فإن المقاومة قد تتطور على نحو سريع. ومع ذلك، فإن محاولة القضاء على الأفراد متغايرة الزيغوت (متغايرة الألائل) يكون فعالاً إلى حد بعيد إذا لم تكن عشائر الآفة كبيرة بشكل مفرط، وتتكون في معظمها من أفراد حساسة، وأيضاً إذا كانت تحدث هجرة من قبل أفراد حساسة إلى داخل العشائر؛ لأنه حينئذ تقل نسبة الأفراد شديدة المقاومة متماثلة الزيغوت (متماثلة الألائل) لصفة المقاومة وتصبح شحيحة في العشيرة، علاوة على أنها من الأرجح أن تعاني من انخفاض اللياقة بسبب جينات المقاومة.

ولا يُنصح مهما كان الأمر بتطبيق معدلات من جرعات المبيد أعلى من الموصى بها، وذلك لأنه إذا نجت أي أفراد من عشيرة الآفة بعد تطبيق هذه الجرعات وبقيت على قيد الحياة، فمن المحتمل أنها ستكون أفراد مقاومة بشكل رئيسي متماثلة الزيغوت (متماثلة الألائل) لصفة المقاومة (RR). فإذا حدث ولم يكن هناك هجرة لأفراد حساسة تأتي إلى داخل العشيرة، فمن المرجح جداً أن يؤدي استخدام هذه المعدلات الأعلى من جرعات المبيد إلى زيادة في تطور المقاومة. أضف إلى ذلك أن هذه الجرعات سوف تقتل الأعداء الطبيعية بشكل كبير، الأمر الذي من شأنه أن يؤدي إلى تزايد في أعداد عشائر الآفة.

التغطية بالمبيد

إن تغطية الأسطح والمواد (مثل المحاصيل والسلع) التي يتم معاملتها تُعد عاملاً غاية في الأهمية. فإذا كانت التغطية جيدة باستخدام المعدل الصحيح من جرعة المبيد على كامل المساحة المراد رشها، فإن الجرعة القاتلة المطلوبة سوف تصل الآفة. أما إذا كانت التغطية رديئة، حيث تستقبل بعض المواضع كميات أكبر من المبيد فيما تستقبل الأخرى كميات أقل أو قد لا يصلها المبيد على الإطلاق، فإن النتيجة تكون مماثلة لما يحدث عند استخدام معدلات أقل من الموصى بها الواردة ببطاقة بيانات عبوة المبيد. وفي هذه الحالة فإن الأفراد متغايرة الزيغوت (متغايرة الألائل) لصفة المقاومة سوف يتم انتخابها في عشيرة الآفة وتتطور المقاومة.

جهازية المبيد

إن استخدام مبيدات الآفات الجهازية فضلا عن تلك التي تؤثر عن طريق الملامسة يمكن أن تعمل على تسريع أو إبطاء تطور المقاومة على حد سواء. وتأثير المبيدات الجهازية بصفة عامة أقل كثيراً على الحشرات النافعة المرتبطة بالآفة. وعليه فإن المفترسات تظل باقية بعد المعاملة بمثل هذه المبيدات، وقد تقوم بالقضاء على كثير من الآفات التي تظل على قيد الحياة بعد المعاملة، وبذلك فإنها تمنع المزيد من انتقال جينات المقاومة إلى نسلها الناتج في عشيرة الآفة. غير أن هذه المركبات الجهازية لها أيضا سلبيات.

ويعتمد تأثير جهازية المبيد على نوعية المركب محل الاهتمام. وتتميز المبيدات الحشرية الجهازية بأنها توفر تجانساً في جرعة المبيد المستخدم ضد الآفة، كما أنها تستطيع أن تصل إلى الآفات التي يمكنها الاحتماء في حالة استخدام المبيدات التي تؤثر عن طريق الملامسة عند رش النباتات، وذلك لهروبها إلى الأسطح السفلية للأوراق. وفي حين أن استخدام مثل هذه المبيدات يعتبر جيداً بالنسبة لمكافحة الآفة، إلا أنه قد يزيد من عمليات انتخاب المقاومة، حيث أنها تفوت الفرصة على الأفراد الحساسة في أن لا تطولها معاملة المبيد وأن تستمر في توريث الجينات التي تحمل صفة الحساسية لنسلها الناتج في عشيرة الآفة. وفيما يتعلق بالمبيدات الفطرية، فإن جهازية المركب تسمح للمبيد الفطري أن يتغلغل وينتشر في النبات أينما تنمو الأوراق، وبذلك تحمي أنسجة النبات التي لم يتم معاملة بطريقتهم مباشرة. وعلى العموم، فإن المركبات الجهازية تظل ثابتة بداخل النبات لفترات أطول منها في المبيدات التي تعمل عن طريق الملامسة، وبالتالي تتسبب في حدوث مزيد من الضغط الانتخابي للمقاومة، خاصة إذا كان هناك تدفق متواصل للآفة.

وهناك إجراء كبير لاستخدام المبيدات الفطرية الجهازية في التطبيقات العلاجية لمكافحة الإصابات الفطرية بعد أن تكون قد استقرت في الأنسجة النباتية. وبشكل عام لا يعتبر هذا ممارسة جيدة حيث أن معظم الخطوط التوجيهية المتعلقة بإدارة السيطرة على المقاومة تنصح تحديداً بعدم اللجوء إلى مثل هذه التطبيقات العلاجية بسبب الضغط الانتخابي المتراد الذي قد تحدثه مثل هذه المبيدات.

تكرار المعاملات

ينبغي أن يقتصر تكرار المعاملات بالمبيدات على العدد الضروري منها وبما يكفي لحماية المحصول أو مكافحة الآفة، حيث أن المعاملات الغير ضرورية تزيد من الضغط الانتخابي في عشيرة الآفة. وبوجه الخصوص لا يُنصح بتكرار المعاملات باستخدام معدلات من جرعات المبيد أقل من الموصى بها (وذلك على سبيل خفض تكاليف المعاملات)، والتي يمكن أن تؤدي إلى تطور المقاومة بشكل سريع. وفي هذه الحالة فإن الأفراد الحساسة فقط هي التي سيتم إبادتها من العشيرة، فيما تقاوم الأفراد متغايرة الزيغوت (متغايرة الألائل) بصفته مقاومة من الناحية الوظيفية (RS) وبالتالي يتم انتخابها جنباً إلى جنب مع الأفراد المقاومة متمثلة الزيغوت (متمثلة الألائل) لصفة المقاومة (RR). وهناك حالات تحققت فيها عمليات مكافحة مذهلة للآفات (بشكل مؤقت) مع تكرار المعاملات، ولكن أعقبها حدوث مشاكل غاية في الخطورة بشأن تطور المقاومة. وفي الأحوال التي تتحرك فيها أفراد الآفة الغير معاملة على نحو متواصل إلى داخل منطقة ما الأمر الذي يدعو إلى تكرار المعاملات بالمبيد، فمن الحكمة إجراء تناوب للمبيدات المستخدمة في المعاملات مع مبيدات أخرى ليست ذات صلة من ناحية التركيب الكيميائي حتى يمكن خفض الضغط الانتخابي في عشيرة الآفة.

وجود آفات ثانوية

هناك اعتبار آخر، كما ذكر عند مناقشة مدى عوائل الآفة، هو وجود آفات غير مُستهدفة لكنها حساسة في بعض المحاصيل بمستويات تحت الحد الاقتصادي الحرج، في الوقت الذي توجد فيه أنواع أخرى من الآفات بلغت الحد الحرج للمعاملة بالمبيد. ورغم أن أنواع هذه الآفة الأخيرة تكون مُستهدفة، إلا أن الآفة الأولى يتم انتخابها أيضاً جراء هذه المعاملات بالمبيد. وهذا هو السبب في ضرورة الاحتفاظ بسجلات مُفصلة بشأن استخدام المبيدات للرجوع إليها وقت الحاجة. وللأسف، غالباً ما يقصر المُتخصصين في مجال المحاصيل في أخذ المعاملات التي تتم عندما تكون الآفة تحت مستويات الحد الاقتصادي في اعتبارهم عند وضع برامج مكافحة الآفات.

أطوار الآفة المُعاملة

من المحتمل أن يكون تطور المقاومة على نحو أقل عندما يكون من الممكن معاملة الحشرة خلال أطوار حياتها المختلفة، خاصة إذا كانت هذه الأطوار سريعة التأثير بالمبيدات (مثل ذلك، في حشرات رتبة حرشية الأجنحة تكون اليرقات حديثة الفقس أو يرقات العمر الأول أو ذكور الحشرات الكاملة أقل مقدرة على تمثيل "استقلاب" المبيدات الحشرية)، كما يكون تطور المقاومة أقل أيضاً عندما يتم معاملة أطوار حياة الحشرة المختلفة بمبيدات ليست ذات صلة ببعضها من حيث التركيب أو طريقة الفعل. ويرجع السبب في الحالة الأخيرة إلى أنه إذا أثبتت بعض أفراد الآفة أنها مقاومة في أحد أطوار حياتها لمبيد ما، فمن المحتمل أن يتم القضاء عليها إذا تمت معاملة الطور التالي بمركب غير ذي صلة بسابقه. وعلى العموم، من الصعب تحقيق مثل هذا النهج مالم تكن الأجيال متزامنة تماماً أو أن اليرقات والحشرات الكاملة تعيش في بيئات مختلفة. وفي الواقع العملي، عادة ما يوجد خليط من أطوار حياة الآفة في ذات الحقل.

نسبة عشائر الآفة المُعاملة

عموماً، لا تتطور المقاومة في نوع من الآفات في نطاقها الجغرافي بأكمله في آن واحد، ولكن من المرجح جداً أنها تتطور بصورة موضعية. ففي حالة الفطريات، وعلى سبيل المثال الفطر الذي يسبب مرض البياض الدقيقي على محاصيل الحبوب، يلاحظ أن المقاومة غالباً ما تظهر في البداية في المناطق الأعلى في استخدام المبيد الفطري والأعلى في شدة انتشار المرض، مثل أوروبا الشمالية ثم تظهر بعد ذلك في المناطق الجنوبية. وبالنسبة للمبيدات الحشرية ومبيدات الحشائش، فإنه في حالة معاملة حقول أو مواضع معينة فقط، فإن الأفراد الحساسة في عشائر الحشرات أو البذور النباتية قد تتحرك إلى داخل المنطقة المعاملة حيث يحدث اختلاط وبالتالي تخفيف لجينات المقاومة نتيجة تزاوج الأفراد الحساسة أو اختلاط حبوب اللقاح من النباتات الحساسة مع المقاومة التي ظلت باقية. وعلى النقيض من ذلك، فقد يحدث، وهذا بالنسبة لجميع مبيدات الآفات، أن يتم معاملة منطقة موضعية بشكل مُفرط، ونتيجة لذلك تنشأ عشائر مقاومة بصورة موضعية أيضاً. وإذا كانت الآفة من الأنواع كثيرة التحرك أو التنقل، مثل الأبواغ (الجرائيم) والبذور ومفصليات الأرجل، التي تُحمل بواسطة الرياح فإنه بذلك يمكن حمل الجينات المقاومة إلى مناطق أخرى قد لا توجد بها مثل هذه الجينات وإن وجدت تكون بمعدلات منخفضة جداً فقط.

ثبات المبيد

عندما تتساوى كافة العوامل، فإن احتمال تطور المقاومة يكون أقل مع استخدام مبيدات آفات أقل ثباتاً حيث يكون الضغط الانتخابي أيضاً أقل. ومع ذلك، في كثير من الأحوال تكون المنتجات ذات المتبقيات طويلة الأمد مرغوبة حيث يتطلب الأمر في مثل هذه الحالة تطبيق عدد من المعاملات أقل. وقد يحدث أن يكون انهيار متبقيات المبيد ببطء، إلا أن المعدل الذي يحدث عنده انتخاب الأفراد المقاومة سوف يتم الوصول إليه عند مرحلة ما، وحينئذ يحدث الانتخاب.

وفي الحشرات، فإن مقدار عملية الانتخاب تعتمد جزئياً على حركة وانتقال الآفة الحشرية، فعلى سبيل المثال، إذا تم القضاء على معظم أفراد عشيرة الآفة خلال المعاملة الأساسية ولم يتبقى سوى أفراد قليلة غير مُعاملة تجابه المبيد في المنطقة المعاملة، فإن حدوث عمليات الانتخاب ستكون قليلة. ومع ذلك، إذا كان هناك تدفق متواصل لأفراد من الآفة الغير مُعاملة تأتي من المناطق المتاخمة، أو تخرج من التربة، فإن عدد الأفراد المقاومة التي يتم انتخابها حينئذ قد تكون كبيرة. وفي حالة عدم تكرار المعاملات بالمبيد وكانت فترة ثباته قصيرة، فإن جينات المقاومة في عشيرة الآفة قد يتم تخفيفها عند تدفق أفراد حساسة إليها. ويتمثل الوضع الأفضل في وجود المبيد الفعال تماماً الذي يحقق مكافحة الآفة بالدرجة المطلوبة، وحينئذ يحدث له انهيار بشكل سريع. وعموماً، فإن كلا من ثبات المبيد وتكرار المعاملة يرتبطان مع بعضهما البعض. حيث تميل مبيدات الآفات ذات المتبقيات قصيرة الأمد لأن تحدث ضغط انتخابي أقل وبالتالي سيكون تطور المقاومة بشكل أقل أيضاً. ومع ذلك، فقد يُبطل تكرار المعاملات الفوائد التي قد تعود من استخدام المبيدات ذات المتبقيات قصيرة الأمد.

عدد المحاصيل المُعاملة

عندما يتم معاملة محاصيل كثيرة مختلفة باستخدام نفس المبيد، فإن مخاطر تطور المقاومة تكون أعلى، خاصة في حالة الآفات التي لها نطاق واسع من العوائل. وقد يتم انتخاب أفراد الآفة الحشرية عن طريق المعاملات بالمبيد على المحاصيل المختلفة المتعاقبة النمو، في الوقت الذي تصبح فيه الملاجئ (المناطق القريبة الخالية من المبيدات) التي تأوي الأفراد الحساسة بشكل أصغر.

التتابع المحصولي

إذا كانت المحاصيل المزروعة في نفس المنطقة تفصلها فترات زمنية (مثل الفترات التي تترك فيها الأرض بور بين الدورات المحصولية المتعاقبة) أو إذا كانت مزروعة في مناطق جغرافية مُستقلة أو ذات سمات خاصة، فإن مخاطر تطور المقاومة تكون أقل. ومن ناحية أخرى، إذا كان يتم تطبيق النظام المحصولي المستمر في الزراعة، فإن عدد عمليات الانتخاب التي يحدثها المبيد قد تكون مرتفعة، ومن المرجح جداً أن تتكون وتتطور المقاومة على نحو أسرع. وبشكل مماثل، إذا تمت زراعة المحاصيل على مساحة كبيرة ممتدة، فإن الملاجئ (المناطق القريبة الغير مُعاملة) التي يمكن أن تأوي إليها الأفراد الحساسة من عشائر الآفة تكون أصغر.

تكتيكات مكافحة الآفة

إن الاستخدام المستمر لأحد المبيدات بمفرده أو الاعتماد على المكافحة الكيميائية فقط، من المرجح أن يؤدي إلى زيادة مخاطر تطور المقاومة لفعل المبيدات. وهذا هو السبب في أن استراتيجيات منع وإدارة السيطرة على المقاومة تُحتم استخدام تكتيكات متعددة للمكافحة تعتمد على الأساليب الكيميائية والبيولوجية والعمليات الزراعية.

التأثيرات على الكائنات غير المستهدفة

عند استخدام المبيدات الحشرية على وجه الخصوص، فإن اتباع طرق المكافحة التي لها تأثير قليل على الأعداء الطبيعية لآفات المحاصيل، مثل استخدام المبيدات الحشرية الانتقائية (الاختيارية) و/أو أساليب بديلة لإدارة الآفات، تعمل على إبطاء تطور المقاومة. ويرجع ذلك إلى أن الأعداء الطبيعية تقوم بالقضاء على كل الآفات المقاومة والحساسة، وبالتالي تقلل من تكرار جينات المقاومة في العشيرة، إذا لم تكن المقاومة أصبحت سائدة بعد.

2-4 مخاطر مقاومة فعل المبيدات الفطرية

تعتمد مخاطر المقاومة للمبيدات الفطرية إلى حد كبير على المجموعة الكيميائية التي يتبعها المبيد الفطري، وعلى المسبب المرضي (المرض)، وكيف وأين يتم إجراء المعاملات بالمبيد. وتتميز كل مجموعة كيميائية بنمط نموذجي للمقاومة. ويعرض جدول (2) تصنيف للمجموعات الكيميائية الرئيسية والمركبات وفقاً لما إذا كانت مخاطر المقاومة عالية أو متوسطة أو منخفضة.

جدول - 2 مخاطر المقاومة المتأصلة المرتبطة بالمبيدات الفطرية المختلفة والمجموعات الكيميائية للمبيدات الفطرية.

مخاطر المقاومة	المجموعة الكيميائية أو المركب
عالية	بنزيميدازولات Benzimidazoles ، ديكاربوكسي ميدات dicarboximides ، فينايل أميدات phenylamides ، مشابهاً ستروبيلورين strobilurin analogues (مثل، ميثوكسي اكريلات methoxyacrylates ، أوكسي أمينو اسيتات oximino acetates)
متوسطة	2- أمينوبيريميدين 2-Amino-pyrimidines ، أمينات aminies (بما فيها المورفولينات including morpholines) ، أنيلينوبيريميدينات anilino-pyrimidines ، هيدروكربونات عطرية aromatic hydrocarbons ، آزولات azoles ، كاربوكسانيليدات carboxanilides ، أميدات حمض الكربوكسيليك carboxylic acid amides ، كاربوباميد carpropamid ، سيموكسانيل cymoxanil ، فنهكساميد fenhexamid ، كاسوجاميسين kasugamycin ، فينايل بيرولات phenylpyrroles ، فسفوروثيولات phosphorothiolates ، كوينوكسيفين quinoxxyfen
منخفضة	كلوروثالونيل Chlorothalonil ، نحاس coppers ، داي ثيوكاربامات dithiocarbamates ، فوسيتيل- Alfosetyl-Al ، بيروكولون pyroquilon ، فثاليميدات phthalimides ، كبريت sulphurs ، تري سايكلزول tricyclazole

المصدر: [Brent & Hollomon (2007a,b) ، لجنة مجابهة المقاومة للمبيدات الفطرية (2011) FRAC]

وبالإضافة إلى مخاطر المقاومة المرتبطة بالمبيدات الفطرية المتنوعة، يوجد أيضاً عدد من الممرضات التي أظهرت ميلاً لتكوين وتطوير المقاومة على مر السنين. ويتضح ذلك في جدول (3)

جدول - 3 أمثلة للممرضات النباتية الهامة التي أظهرت مخاطر عالية بشأن تطور المقاومة لفعل المبيدات الفطرية.

الممرض الفطري	المحصول
<i>Phytophthora infestans</i> (يسبب لفحة البطاطس المتأخرة)	البطاطس (فينايل أميد فقط)
<i>Plasmopara viticola</i> (يسبب مرض البياض الرغبي)	العنب
<i>Erysiphe gaminis</i> (يسبب مرض البياض الدقيقي)	القمح والشعير
<i>Uncinula necator</i> (يسبب مرض البياض الدقيقي)	العنب
<i>Sphaerotheca spp.</i> (يسبب مرض البياض الدقيقي)	محاصيل متنوعة
<i>Mycosphaerella fijiensis</i> (يسبب مرض التبغ الأسود على الأوراق)	الموز
<i>Pyricularia oryzae</i> (يسبب لفحة الأرز)	الأرز
<i>Gibberella fujikuroi</i> (يصيب بادرات الأرز)	الأرز
<i>Botryotinia fuckeliana</i> (يسبب مرض العفن الرمادي)	محاصيل متنوعة خاصة العنب
<i>Venturia spp.</i> (نوع يسبب مرض لفحة الأوراق والنموات الحديثة)	التفاح والكمثرى

[المصدر: منظمة حماية النباتات في أوروبا ومنطقة البحر الأبيض المتوسط OEPP/EPPPO (2002)]

وفيما يتعلق بالمبيدات الفطرية الجديدة التي لا تندرج ضمن الفئات المذكورة أعلاه، فإنه من الضروري النظر في العوامل الفردية التي يمكن أن تؤدي إلى تطور المقاومة. ويمكن الاستعانة بإطار العمل الوارد في جدول (4) للقيام بذلك.

جدول - 4 إطار العمل بشأن التوقعات بتطور المقاومة لفعل المبيدات الفطرية الجديدة

العامل	الدلالات الإيجابية لمخاطر المقاومة
الخصائص المتأصلة للمبيد الفطري	
مجموعة المبيد الفطري	إذا كان المبيد الفطري يقع ضمن مجموعة لها تاريخ مع مشاكل المقاومة.
الموقع المستهدف	إذا كان الموقع المستهدف بمفرده، أو إذا كان الموقع معروف بمقدرته على التغيير إلى الشكل الذي لا يتأثر أو يكون تأثيره على نحو أقل من قبل مبيدات فطرية أخرى.
المقاومة المشتركة	إذا وجدت سلالات من الممرض المستهدف مقاومة للمبيدات الفطرية المتاحة، والتي يمكنها أيضا مقاومة المبيد الفطري الجديد.
الاستجابة للعوامل المُطفِرة	إذا كانت المعاملة بالمواد المُطفِرة تجعل الفطر المستهدف ينتج سلالة مقاومة (طوافر لائقة).
الاستجابة لتجارب التهجين الجنسي	إذا كان التهجين الجنسي يجعل الفطر المستهدف ينتج سلالة مقاومة لائقة بها تركيبات جينية جديدة.
الاستجابة للمعاملات المتكررة	إذا كان تعرض الفطر المستهدف للمبيد الفطري على نحو متكرر سواء في المختبر أو في القطع التجريبية يتسبب في ظهور سلالة مقاومة لائقة في مستوى يمكن اكتشافها.
الخصائص المتأصلة للممرض النباتي	
فترة الجيل	إذا كان الممرض المستهدف يتكاثر بسرعة، وبالتالي يحتاج إلى تكرار المعاملات بالمبيد الفطري.
مقدار التبوغ	إذا كان تبوغ (تكوين الجراثيم) الممرض بشكل وافر.
انتشار الأبواغ (الجراثيم)	إذا كانت الأبواغ تنتشر بسرعة وسهولة بين النباتات والمحاصيل والمناطق.
التكيف الوراثية	إذا كان الممرض أحادي الصبغيات (الكروموسومات)، هابلويد، أو له تركيب جيني يسمح بإحداث طفرات مقاومة، أو يتطوي على تنابع إجباري للتكاثر الجنسي واللاجنسي خلال دورة المرض، أو يظهر علامات أخرى للتكيف الوراثي.
تاريخ المقاومة	إذا كان الممرض له بيانات مدونة بالسجلات بشأن تطور المقاومة لفعل المبيدات الفطرية (من أي نوع).
ظروف الاستخدام (يتم تحديدها محليا)	
استخدام المبيد الفطري	إذا كان المبيد الفطري سيتكرر استخدامه، أو إذا كان المبيد الفطري (أو المبيدات الفطرية ذات الصلة به بشأن المقاومة المشتركة) سيستخدم بشكل مستمر و/أو على نطاق واسع على المحاصيل في نفس المنطقة.
التدابير المكتملة	عندما لا تُستخدم أنواع أخرى من المبيدات الفطرية (كالمخاليط أو التناوب بين المركبات المتنوعة)، أو عند عدم اتخاذ تدابير أخرى غير كيميائية للسيطرة على المرض (مثل ذلك، الدورة الزراعية، أصناف مقاومة، الاحتياطات الصحية).
مدى حدوث الممرض (وطأة المرض)	إذا وجد الممرض بكثافة شديدة و/أو كان يغطي مساحات شاسعة و/أو يتكاثر بسرعة على مدى فترات زمنية طويلة (فترة الجيل تكون قصيرة).
انعزال الممرض	إذا كانت مستعمرات الممرض المستهدف منعزلة و/أو لا تنتقل مثال ذلك، كما في نباتات الدفيئات (الصوب الزجاجية).

[المصدر: (Brent & Holloman 2007a)]

ويوضح شكل (3) كيف يمكن تصنيف مخاطر المقاومة المتأصلة المرتبطة بمبيدات فطرية وممرضات معينة. وهذا التصنيف يُعد بمثابة تصنيف تقريبي، وأن النقاط المشار إليها بالأرقام هي نقاط تقديرية فقط، إلا أنها تعتبر أفضل التقديرات التي يمكن تقديمها في ضوء المعرفة الحالية. وهناك لجنة معنية بمجابهة المقاومة للمبيدات الفطرية (FRAC)، عبارة عن فريق تقني متخصص يتبع الاتحاد العالمي للتقنيات الزراعية - كروب لايف (CropLife)، تقوم بتقديم الإرشادات المتعلقة بإدارة السيطرة على مقاومة فعل المبيدات الفطرية، كما تراجع بشكل منتظم مخاطر المقاومة للمجموعات الكيميائية التابعة لها هذه المبيدات، علاوة على أنها تحتفظ بقائمة للكائنات الحية المُسببة للأمراض النباتية والمقاومة لفعل المواد المستخدمة في مكافحتها، مع بيان ما إذا كان أي من هذه الكائنات الممرضة أظهرت أي نوع من المقاومة سواء في الحقل أو المختبر، بما في ذلك بعض الدراسات بشأن حدوث الطفرات.

شكل-3 مخاطر تطور المقاومة لتركيبات معينة للمبيد الفطري والممرض. يتم أولاً تصنيف مخاطر المقاومة المتأصلة المرتبطة بمبيدات فطرية وممرضات معينة على نحو منفصل (لكل من المبيد والممرض على حدة) بأنها عالية أو متوسطة أو منخفضة أو غير موجودة (وما يقابلها من نقاط رقمية 3، 2، 1، أو 0.5)، ثم عُرضت هذه المخاطر بعد ذلك مجتمعة للمبيد الفطري والممرض وتم التعبير عنها بنقاط تراوحت من 9 إلى 0.5 [المصدر: (Brent & Holloman (2007a)]

المخاطر المشتركة : 1 = منخفضة ، 2-6 = متوسطة ، 9 = عالية				
9	6	3	3	عالية Benzimidazoles Qols Phenylamides Dicarboximides
6	4	2	2	متوسطة Carboxanilides DMI's Phenylpyrroles Phosphorothiolates Anilinopyrimidines MBI-Ds
1.5	1	0.5	0.5*	منخفضة نحاس Coppers كبريت Sulfur Chlorothalonil Dithiocarbamates Phthalimides MBI-Rs Probenazole
3	2	1	<div style="text-align: center;"> <p>مخاطر مبيد الفطر ↑</p> <p>مخاطر الممرض ←</p> </div>	
عالية <i>Bptrytis</i> <i>Blumeria</i> <i>Magnaporthe</i> <i>Venturia</i> <i>Plasmopara</i> <i>Penicillium</i> <i>M. fijiensis</i> <i>Phytophthora infestans</i> ** فطر عفن البطاطس	متوسطة Eyepot <i>Mycosphaerella</i> <i>Graminicola</i> <i>Rhynchosporium</i>	منخفضة <i>Rhizoctonia</i> صدأ مرضات تنتقل عن طريق التربة التفحم Smuts والتفحم النتن Bunts		
* النقاط المنخفضة المحرزة تعكس عمليات تسجيل لفترات طويلة الأمد "بأنه لا توجد مقاومة" في مجموعة المخاطر المنخفضة.				
** يعتبر البعض أن فطر عفن البطاطس <i>Phytophthora infestans</i> يظهر مستوى متوسط من مخاطر المقاومة حيث يستند تصنيف المخاطر العالية بشكل كبير على الاستجابة لمركبات الفينيل أميدات.				
وتتاح أحدث المعلومات من موقع لجنة مجابهة المقاومة لفعل المبيدات الفطرية (FRAC) وعنوانه: www.frac.info				

وأخيراً، فإن تطور المقاومة في بلد ما أو إقليم تعتمد أيضاً على ظروف استخدام المبيد الفطري. وقد يُشار إلى هذه الظروف في بعض الأحيان "بمعدلات المخاطر" لكنها في واقع الأمر تعتبر بمثابة محددات هامة في تطور المقاومة، ويجب دائماً أن تُدرج بوصفها جزءاً لا يتجزأ من عملية التقييم. وفيما يلي أهم ظروف استخدام المبيد الفطري التي تؤثر على تطور المقاومة تجاهه:

- عدد المعاملات بالمبيد الفطري – كلما كان تكرار استخدام مركب محدد على مجموع عشيرة الممرض النباتي على نحو أكبر، كلما كانت عملية الانتخاب وظهور المقاومة بشكل أسرع؛
- الاستخدام الحصري على طريقة واحدة لتأثير المبيد الفطري- كلما اقتصر الاستخدام على مركب أو مركبات لها نفس طريقة إحداث الفعل بشكل متكرر، كلما كان الضغط الانتخابي وظهور المقاومة أكثر شدة وثباتاً؛
- الجرعة المستخدمة من المبيد الفطري – استخدام جرعات أقل من الموصى بها (المُبينة على بطاقة بيانات عبوة المنتج) قد تزيد من الضغط الانتخابي للمقاومة؛
- اتساع نطاق مجموع مستعمرة الممرض المتعرض لتأثير المبيد الفطري – إذا كان حدوث المرض بداخل مواضع مُحددة ومنخفض نسبياً أو أن حدوثه يأتي على نحو متقطع، أو على شكل غير منتظم من موسم إلى آخر، فإن مستوى انتخاب المقاومة يقل؛
- مساحات قطع الأرض المُعاملة ونسبتها إلى المساحة الإجمالية أو المنطقة التي يتم معاملتها بالمبيد الفطري – كلما كانت مساحات قطع الأرض وكذلك نسبتها إلى المساحة الكلية التي سيستخدم بها المبيد أكبر، كلما كانت عمليات الانتخاب تحدث على نطاق أوسع وتكوين سلالات مقاومة؛
- الاعتماد على المبيدات الفطرية فقط، إلى جانب التقصير في استخدام الإدارة المتكاملة للسيطرة على المرض – غالباً ما تؤدي إلى زيادة الضغط الانتخابي وتكوين المقاومة تجاه المبيد الفطري؛
- انعزال مجموع مستعمرات الممرض (كما في الدفيئات أو الصوب الزراعية، انفاق البوليثين الزراعية، أو المناطق الزراعية المعزولة)، تمنع إعادة دخول السلالات الحساسة منه- مما يكون باعثاً على تطور سلالات الممرض المقاومة.

2-5 مخاطر مقاومة فعل مبيدات الحشائش

- تطورت المقاومة لفعل مبيدات الحشائش بسرعة أقل من المقاومة للمبيدات الحشرية ومبيدات الفطريات، ومع ذلك كانت محل اهتمام وأشارت إليها التقارير في جميع أنحاء العالم. وقد يُعزى ذلك إلى:
- التكاثر البطيء نسبياً في النباتات العشبية، فغالباً ما يكون لها جيل واحد في السنة؛
 - الضغط الانتخابي غير الكامل لمعظم مبيدات الحشائش؛
 - طول فترة تكون بذور الحشائش في التربة، وكذلك المخزن الكبير لبذور الحشائش الحساسة في التربة (بنك البذور)؛
 - لدانة النباتات العشبية؛
 - تعدد طرق تأثير (كيفية إحداث الفعل) مبيدات الحشائش؛
 - استخدام طرق المكافحة غير الكيماوية للحشائش جنباً إلى جنب مع المبيدات الكيماوية.

وفي كثير من الحالات تبدو الحشائش بأنها لا تعاني من أي "تكلفة للياقة" (أي فقدتها بعض الخصائص الأخرى) مقابل جينات المقاومة واكتسابها للياقة لمقاومة مبيدات الحشائش. وعلى ذلك، فإن تكرار هذه الجينات قد يكون كثيراً حتى قبل انتخابها نتيجة تكرار استخدام مبيد الحشائش. وتنطوي أغلب حالات مقاومة الحشائش لفعل المبيدات على حدوث طفرات فردية أو تعديلات في بعض الوظائف به حتى يصبح العشب مقاوماً للمبيد أما مباشرة أو عن طريق المقاومة المشتركة. وقد أشارت التقارير إلى وجود حالات للمقاومة المتضاعفة (المتعددة)، إلا أنه من النادر أن يكون لدى نبات بمفرده آليات متعددة للمقاومة.

وتتزايد حالياً المقاومة لمبيدات الحشائش بمعدل أُسّي. وربما يرجع ذلك إلى الحقيقة بأن العديد من مبيدات الحشائش الحديثة والفعالة جداً يقتصر تأثيرها على موقع مستهدف واحد في العشب.

وفيما يلي الآليات الرئيسية لمقاومة فعل مبيدات الحشائش:

- **تغيير في الموقع المستهدف:** يرجع ذلك إلى حدوث تغيير في تركيب الموقع المستهدف، ومن ثم لن يعد يستطيع مبيد الحشائش أن يرتبط بموضعه الطبيعي الذي يؤثر فيه، مما يسمح للعشب أن ينجو ويظل باق على قيد الحياة بعد المعاملة بالمبيد؛
- **زيادة تمثيل (استقلاب) مبيد الحشائش:** يستطيع العشب المقاوم أن يهدم مبيد الحشائش ويحوّله إلى مواد غير سامة ضوئية على نحو أسرع من النبات العادي الحساس، وبالتالي يستطيع أن يستمر في المعيشة بعد المعاملة بمبيد الحشائش، وبنفس الطريقة كما في العديد من النباتات؛
- **العزل/الاحتجاز:** حيث يُزال مبيد الحشائش من الأجزاء الحساسة في الخلايا النباتية ويتحرك إلى مواضع أخرى لها القدرة على التحمل مثل الفجوات أو التجاويف، حيث لا يؤثر على نمو النبات تماماً.

إن أهم عامل في تطور المقاومة لفعل مبيد الحشائش هو تكرار استخدام مبيدات حشائش أخرى لها طرق مماثلة في كيفية إحداث الفعل (الطريقة التي يؤثر بها المبيد)، وهناك عوامل أخرى تتضمن:

- شدة الضغط الانتخابي؛
- تطبيق نظام التعاقب المحصولي الذي يعتمد بصفة رئيسية على استخدام مبيدات الحشائش في مكافحة الأعشاب قد يؤدي إلى تطور المقاومة. ويشمل نظام التعاقب المحصولي تناوب كلا من المحاصيل ومبيدات الحشائش ويعد هذا النظام هاماً لأنه يحدد تكرار المعاملات ونوع المبيد المستخدم. كما أنه يعتبر عاملاً أساسياً في انتقاء أساليب مكافحة الحشائش الغير كيميائية، وله أثر كبير على الحياة النباتية العشبية الموجودة؛
- التقصير في ممارسات مكافحة الحشائش الغير كيميائية – تُعد العمليات الزراعية أو أساليب مكافحة الحشائش غير الكيميائية، المُدمجة ضمن نهج متكامل، من الأمور الأساسية لنظام إدارة مُستدام للمحاصيل الزراعية؛
- تكرار جينات المقاومة في الحشائش المُعاملة؛
- مقدار وحيوية البذور (بنك البذور)، أي بذور الحشائش تظل ساكنة في التربة، والتي تعمل كحائل يؤدي إلى إبطاء تطور المقاومة.

ويوضح جدول (5) كيف تؤثر العوامل التشغيلية المختلفة على تطور المقاومة لفعل مبيدات الحشائش، وبخاصة ما إذا كانت الممارسات تتسبب في مخاطر منخفضة أو متوسطة أو عالية من انتخاب صفة المقاومة في الحشائش المعاملة.

جدول - 5 أثر العوامل التشغيلية على تطور المقاومة لفعل مبيدات الحشائش.

العوامل التشغيلية	مخاطر المقاومة		
	عالية	متوسطة	منخفضة
النظام المحصولي	لا يوجد تعاقب	تعاقب محدود	تعاقب كامل
مخاليط من مبيدات الحشائش او تعاقب في النظام المحصولي	طريقة واحدة لكيفية تأثير المبيد	أكثر من طريقتين لكيفية تأثير المبيد	أكثر من طريقتين لكيفية تأثير المبيد
مكافحة الحشائش في النظام المحصولي	كيميائية فقط	مكافحة زراعية وكيميائية	مكافحة زراعية، ميكانيكية وكيميائية
مقاومة الحشائش لطريقة تأثير المبيد	شائعة	محدودة	غير معروفة
الإصابة بالحشائش	عالية	متوسطة	منخفضة
المكافحة في الثلاث سنوات الأخيرة	ردينة	في تراجع	جيدة

[المصدر: لجنة مجابهة المقاومة لمبيدات الحشائش (2011) HRAC]

هناك بعض الفئات من مبيدات الحشائش تكون أكثر عرضة لمشاكل المقاومة من غيرها. ويبين جدول (6) سرعة واحتمال تطور المقاومة تجاه المجموعات المتنوعة من مبيدات الحشائش، والتي تم تصنيفها وفقا لمواضع التأثير، بواسطة الفريق التقني المتخصص للجنة المعنية بمجابهة مقاومة مبيدات الحشائش التابعة للاتحاد العالمي للتقنيات الزراعية- كروب لايف (Crop Life)، والتي تقدم الإرشادات بشأن المقاومة لفعل مبيدات الحشائش.

جدول - 6 السنوات اللازمة لتطور المقاومة لمجموعات مبيدات الحشائش ومخاطر المقاومة وفقاً لتصنيف لجنة مجابهة مقاومة الحشائش لفعل المبيدات (HRAC).

مخاطر المقاومة	سنوات الاستخدام قبل تطور المقاومة	المجموعة التابع لها مبيد الحشائش (تصنيف HRAC)
عالية	8 - 6	A
عالية	4	B
متوسطة	15 - 10	C
متوسطة	15 - 10	D
متوسطة	10	F
منخفضة	غير معروفة	I
منخفضة	أكبر من 15	L
منخفضة	15	M

[المصدر: تصنيف مبيدات الحشائش من قبل لجنة مجابهة مقاومة الحشائش (2008) FAO]

وكقاعدة عامة فإن مبيد الحشائش الذي يحدث تجاهه ضغط انتخابي منخفض نتيجة استخدامه بشكل متقطع وبالتناوب مع أساليب مكافحة غير الكيميائية يواجه مخاطر منخفضة للمقاومة. ويوجد أيضا عدد من أنواع الحشائش لديها ميل لتكوين مقاومة تجاه مبيدات الحشائش. وهذه الأنواع مُدرجة بالجدول التالي (جدول 7).

جدول 7 – بعض الأنواع الرئيسية من الحشائش التي تنزع إلى تكوين مقاومة لمبيدات الحشائش على نطاق عالمي.

نوع الحشيشه أو العشب	الاسم الشائع
<i>Lolium rigidum</i>	الراي – زوان صلب
<i>Avena fatua</i>	الشوفان البري
<i>Amaranthus retroflexus</i>	عرف الديك ذات الجذر الأحمر
<i>Chenopodium album</i>	زربيح البيضاء – عيفجان
<i>Setaria viridis</i>	ذيل الفار
<i>Echinochloa cus-galli</i>	الذنبه
<i>Kochia scoparia</i>	الكوشيا أو الكوخيا الشائعة
<i>Conyza Canadensis</i>	عشبة الخيل الكندي
<i>Amaranthus hibridus</i>	رجل الأوز الملساء

[المصدر: اللجنة المعنية بمجابهة مقاومة الحشائش (1999) HRAC]

2-6 مخاطر مقاومة فعل المبيدات الحشرية

هناك تاريخ طويل لمقاومة الآفات الحشرية لفعل مبيدات الحشرات. وفي الواقع، فإن المقاومة تتكون وتتطور لكل مبيد حشري من المبيدات الرئيسية عاجلاً أو آجلاً. وقد أجريت كثير من الأبحاث على المقاومة حتى الآن وذلك لإعداد تكتيكات للتغلب على أو تأخير ظهور المقاومة لفعل المبيدات الحشرية. وترتبط معظم مشاكل مقاومة الحشرات للمبيدات بالعوامل المبينة في جدول (8).

جدول 8 - العوامل المؤثرة في نشأة وتطور المقاومة في الحشرات

العامل	التأثير على تطور المقاومة
العوامل المتعلقة بالحشرة	
دورة الحياة قصيرة	تتلقى عشيرة الآفة الحشرية مُعاملات كثيرة أو لمرات معدودة لكل محصول ولكل موسم مما قد يؤدي إلى تقصير الفترة اللازمة لحدوث المقاومة.
الإصابة شديدة/مستويات عشائر الآفة	حتى مع مستويات المكافحة العالية قد يكون هناك أعداد كبيرة نسبياً من الأفراد المنتخبة التي بقيت على قيد الحياة، مما يؤدي إلى تطور المقاومة على نحو أسرع.
أعداد النسل الناتج (الصغار) من كل أنثى كبيرة	مما يسمح لأعداد قليلة نسبياً من الأفراد المنتخبة التي بقيت على قيد الحياة وتحمل جين (أو جينات) المقاومة أن تعيد تكوين عشائر كبيرة من تلك الأفراد المقاومة.
مدى العوائل المضيفة واسع	ممكّن أن يتم انتخاب الحشرة على عدة محاصيل في السنة.
العوامل التشغيلية	
تطبيق معدل استخدام للمبيد أقل مما هو مذكور على بطاقة العبوة	يؤدي إلى انتخاب أفراد متغايرة الزيجوت (متغايرة الألائل)، مما يزيد من تكرار جينات المقاومة في عشائر الآفة.
التغطية بالمبيد غير كافية	وهذا يماثل ما يحدث في حالة تطبيق معدل استخدام للمبيد منخفض، حيث يعمل على زيادة الأفراد متغايرة الزيجوت (متغايرة الألائل) التي تبقى على قيد الحياة بعد المعاملات، وبالتالي حدوث تكرار لجينات المقاومة في مجموع الآفة.
توقيت التطبيق غير مناسب	قد يؤدي استهداف أطوار الآفة الأقل حساسية أو العشائر التي تزداد بأعداد ضخمة إلى انتخاب الأفراد متغايرة الزيجوت (متغايرة الألائل) لصفة المقاومة من بين الأطوار الأقل حساسية، كما أن معاملة العشائر الضخمة يؤدي إلى انتخاب أعداد كبيرة من الأفراد التي تحمل صفة المقاومة.
استخدام مبيدات تتبع مجموعة كيميائية واحدة	يحدث الانتخاب على مستوى عالي، أي يزيد من الضغط الانتخابي للمقاومة.
الاعتماد التام على المكافحة الكيميائية	ضغط انتخابي عالي لمقاومة المبيدات؛ يقتل المفترسات والطفيليات وبالتالي يسمح بزيادة تكرار جينات المقاومة في عشائر الآفة.
التركيز على هدف واحد من الآفات والمحاصيل	يعمل على تجاهل الحشرات الموجودة بمستويات أقل من الحد الحرج وأيضاً معاملة المحاصيل الأخرى، مما يزيد من انتخاب المقاومة في الأنواع الغير مستهدفة.
استخدام المركبات ذات الأثر المتبقي طويل الأمد	يعمل على انهيار المركب ويسمح ببقاء الأفراد متغايرة الزيجوت (متغايرة الألائل) وبالتالي تزيد من تكرار جينات المقاومة .
استخدام المنتجات واسعة المدى في التأثير	يقضي على المفترسات والطفيليات التي تساهم في مكافحة الآفة المستهدفة وقد تعمل على انتخاب المقاومة في الآفات الغير مستهدفة المتواجدة في نفس المنطقة.

[المصدر: لجنة مجابهة المقاومة للمبيدات الحشرية (2011) IRAC، Whalon et al, (2008)، مجلس البحوث الوطني (1986) NRC]

وفي كثير من الأحوال تقوم بعض أنواع الحشرات بتكوين وتطوير المقاومة أكثر من غيرها. ويتضح ذلك من جدول (9)، وتشمل هذه الآفات العديد من أكثر أنواع مفصليات الأرجل صعوبة وضرراً من الناحية الاقتصادية في العالم. وتتميز هذه الأنواع بضخامة أعداد عشائرها وفترة دوران الجيل القصيرة. وعلى ذلك، فإن المناطق المصابة بها تتلقى عدد كبير من المعاملات بالمبيدات الحشرية في كل عام. وعلى مر السنين يكون قد تم تقريباً معاملة أغلب هذه الأنواع بكل المبيدات الحشرية أو مبيدات الأكاروس الجديدة التي ظهرت. ورغم أن هذه الأنواع من الآفات لا تكون بالضرورة مقاومة لجميع المبيدات الحشرية أو ما يقع في نطاقها أو ذات صلة بها، إلا أنها تحتاج إلى عناية إضافية على غير المألوف. وإذا حدث وأن أصبح أي من هذه الأنواع يمثل آفة مستهدفة، فمن الأهمية بمكان وضع خطة لإدارة السيطرة على المقاومة (RMP)، تتضمن العديد من الممارسات الجيدة للإدارة المتكاملة لمكافحة الآفات قدر الإمكان، على أن يكون ذلك قبل إجراء المعاملات سواء بمبيدات الحشرات الموجودة من قبل أو الجديدة منها. وفي الواقع العملي، ينبغي اتخاذ الحيطة والحذر عند معاملة الأنواع الأخرى من الآفات الغير مدرجة بهذه القائمة، كما ينبغي عدم الافتراض بأنه من غير المحتمل أن تظهر مقاومة تجاه مبيد جديد يتبع مجموعة كيميائية جديدة، فربما في نهاية المطاف يتم ذلك بشكل ما.

جدول - 9 أكثر عشرون نوعاً من مفصليات الأرجل ذكرت المقاومة بشأنهم في مجالي الزراعة والصحة العامة. يستند تقدير المرتبة على عدد المبيدات الحشرية والحشرات المقاومة لها، وتبدأ من I (المقاومة لأكثر عدد من المركبات) إلى 20.

الرتبة	الفصيلة	النوع	المرتبة	العائل
الأكاروسات	القراديات Acaridae	أكاروس الأبصال <i>Rhizoglyphus robini</i>	19	نباتات الزينة ، البصل المخزون
الأكاروسات	القراد الصلب أو الجامد Ixodidae	قراد الماشية الجنوبي <i>Boophilus microplus</i>	6	الماشية
الأكاروسات	العناكب الحمراء Tetranychidae	الحلم الأحمر الأوروبي <i>Panonychus ulmi</i>	9	أشجار الفاكهة
الأكاروسات	العناكب الحمراء Tetranychidae	العنكبوت الأحمر ذو البقعتين <i>Tetranychus urticae</i>	1	القطن، الأزهار، الفاكهة ، الخضروات
غمدية الأجنحة	الخنافس الذهبية أو خنافس الأوراق Chrysomelidae	خنفساء كولورادو <i>Leptinotarsa decemlineata</i>	4	البطاطس، الباذنجان ، الطماطم
غمدية الأجنحة	خنافس الدقيق السوداء Tenebrionidae	خنفساء الدقيق الضوئية <i>Tribolium castaneum</i>	17	الحبوب المخزونة ، الفول السوداني، السورجم (الذرة الرفيعة)
مستقيمت الأجنحة	الصراصير Blatteliidae	الصرصور الألماني <i>Blatella germanica</i>	7	المناطق الحضرية
ذات الجناحين	الذباب الأزرق Calliphoridae	ذباب الغنم الاسترالي <i>Lucilia cuprina</i>	18	الماشية، والأغنام
ذات الجناحين	البعوض Culicidae	بعوضة الملاريا الأمريكية <i>Anopheles albimanus</i>	20	الإنسان
ذات الجناحين	البعوض Culicidae	البعوضة المنزلية الشائعة <i>Culex pipiens pipiens</i>	11	الإنسان
ذات الجناحين	البعوض Culicidae	البعوضة المنزلية البنية <i>Culex quinquefasciatus</i>	15	الإنسان
ذات الجناحين	الذباب المنزلي Muscidae	الذباب المنزلي <i>Musca domestica</i>	5	مناطق الحضر
نصفية الأجنحة (بق النبات)	الذباب الأبيض Aleyrodidae	ذباب الطماطم البيضاء ذباب القطن البيضاء <i>Bemisia tabaci</i>	8	الدفئيات (الصوب الزراعية)، القطن، الفرعيات ، نباتات الفصيلة الصليبية كالكرنب، الخضروات

الرتبة	الفصيلة	النوع	المرتبة	العائل
نصفية الأجنحة (بق النبات)	المن Aphididae	من القطن <i>Aphis gossypii</i>	10	القطن ، الخضروات
نصفية الأجنحة (بق النبات)	المن Aphididae	من الخوخ الاخضر <i>Myzus persicae</i>	3	فاكهة ، خضروات ، اشجار ، الحبوب
نصفية الأجنحة (بق النبات)	المن Aphididae	من حشيشة الدينار <i>Phorodon humuli</i>	12	حشيشة الدينار ، البرقوق
حرشفية الأجنحة	الفراشات الليلية Noctuidae	دودة براعم الطماطم وديدان لوز القطن <i>Helicoverpa armigera</i>	13	القطن ، الذرة ، الطماطم
حرشفية الأجنحة	الفراشات الليلية Noctuidae	دودة براعم التبغ <i>Heliothis virescens</i>	14	الحمص ، القطن ، الذرة ، الطماطم
حرشفية الأجنحة	الفراشات الليلية Noctuidae	دودة ورق القطن <i>Spodoptera littoralis</i>	16	البرسيم الحجازي، القطن، البطاطس ، الخضروات
حرشفية الأجنحة	الفراشات ذات الظهر الماسي Plutellidae	الفراشة ذات الظهر الماسي <i>Plutella xylostella</i>	2	نبات من الفصيلة الصليبية كالكرنب

[المصدر: جامعة ميتشيغان (غير مؤرخ)]

2-7 مخاطر مقاومة فعل مبيدات القوارض (القواض)

تتشابه عملية تكوين وتطور المقاومة في القوارض مع تلك الموجودة في الأنواع الأخرى من الآفات، أي تحدث نتيجة استخدام جرعات أعلى أو أقل من تلك الموصى بها لمكافحة الآفة، أو بسبب استخدام مركبات تتبع مجموعة كيميائية بعينها وبمفردها. ومع ذلك، هناك عاملان ينفرد بهما أداء مبيد القوارض، هما:

- مقدرة بعض القوارض على تعلُّم كيفية تجنب الطعوم المعاملة بالمبيد والمصائد، والتي تعرف بما يسمى "الخجل من الطعوم"، أو تعلُّم كيفية النفور من الطعام. ويحدث ذلك في أغلب الأحيان مع السموم الحادة. وبالتالي فقد أصبحت مبيدات القوارض الحديثة تقتصر على مانعات تجلط الدم ذات المفعول الممتد.
- حجم مجموع عشيرة الحيوان القارض التي عادة ما تكون أصغر بكثير من تلك الموجودة في الفطريات أو الحشرات أو الحشائش. وتعتبر الطعوم السامة هي الوسيلة الرئيسية في مكافحة مثل هذه الآفات، والذي يتعين على كل فرد من القوارض أن يقرر إذا ما كان سيأكل من عدمه. ولا يمكن إجراء عمليات رش كالتالي يمكن بها تغطية مساحات كبيرة كما هو الحال في حالة استخدام مبيدات الحشائش والمبيدات الحشرية... الخ.

وقد ثبت أن مقاومة القوارض لمانعات تجلط الدم مُعقدة نوعاً ما. وأن السبب الرئيسي لحدوث المقاومة في الفأر النرويجي (*Rattus norvegicus*) يرجع إلى حدوث طفرات على جين VKOR الذي يؤثر على تمثيل فيتامين K. كما ترتبط أيضاً زيادة فقد السمية بواسطة السيبتوكروم بي-450 بظهور المقاومة. وكما هو الحال في الآفات مفصليّة الأرجل، فإن المقاومة في القوارض هي أيضاً تتأثر بالصفات التناسلية وخصائص المبيدات والتاريخ السابق لمجموع أو عشيرة الآفة.

وعلى الرغم من حدوث المقاومة تجاه بعض المركبات المانعة لتجلط الدم في مناطق معينة، خاصة في بلدان أمريكا الشمالية وشمال أوروبا في بعض الأنواع كالفأر النرويجي *R. norvegicus*، وفأر المنزل *Mus musculus*، والأبوسوم الرمادي ذو الذيل القصير *M. domesticus* والفأر الأسود *R. rattus*،

إلا أنه من الممكن مكافحة القوارض على نحو مُرضٍ بمبيدات القوارض المتاحة حالياً، حتى في تلك الأماكن التي توجد بها ظاهرة المقاومة. ومن المُحتمل أن يظل الحال هكذا خلال المستقبل المنظور.

3- منع وإدارة مقاومة الآفات لفعل المبيدات

1-3 وضع خطة لإدارة المقاومة لفعل المبيدات (RMP)

تشرح خطة إدارة مقاومة فعل المبيدات التكتيكات أو التدابير التي ينبغي اتخاذها لمنع و/أو إدارة السيطرة على مقاومة آفة معينة لفعل المبيد. والهدف من وراء ذلك هو خفض عملية انتخاب جينات المقاومة في مجموع عشيرة الآفة. وينبغي وضع التكتيكات على النحو الذي يضمن الحفاظ على زيادة تكرار الجينات الحساسة وقلة تكرار جينات المقاومة في عشيرة الآفة عن طريق خفض الضغط الانتخابي، في الوقت الذي يجب فيه تحقيق المستوى المطلوب لمكافحة الآفة. ومن المُرجح أن تختلف هذه التكتيكات لكل مجموعة من الآفات، إلا أن هناك عدداً من المبادئ العامة تنطبق على جميع خطط إدارة المقاومة للمبيدات.

2-3 مبادئ عامة

إدارة السيطرة على مقاومة فعل المبيدات كجزء من الإدارة المتكاملة لمكافحة الآفات يُوصى بشدة أن توضع خطة إدارة السيطرة على مقاومة الآفات لفعل المبيدات في إطار نهج شامل للإدارة المتكاملة لمكافحة آفة معينة ونظام محسوبي محدد. الأمر الذي من شأنه أن يضمن وجود استراتيجيات رشيدة لمكافحة الآفات تستند على مبادئ الإدارة المتكاملة للآفات (IPM) - بما في ذلك استخدام مبيدات الآفات بمفردها فقط عندما تدعو الحاجة إلى ذلك، وأيضاً استخدام الأساليب البديلة لإدارة مكافحة الآفات كلما كان ذلك ممكناً.

تنفيذ برامج منع وإدارة السيطرة على مقاومة فعل المبيدات عند إدخال مبيدات جديدة للآفات ينبغي تطبيق خطط إدارة السيطرة على مقاومة الآفات للمبيدات قبلما تصبح ظاهرة المقاومة مشكلة، كما يجب تطبيقها بشكل موحد على مساحات واسعة من أجل الحصول على الفائدة البيولوجية الكاملة. وعند ملاحظة ظهور الأعراض الأولية للمقاومة، فإن ذلك يشير إلى أن تكرار جين (أو جينات) المقاومة قد ازداد بالفعل إلى حد كبير، الأمر الذي يجعل من الصعوبة البالغة المحافظة على الحساسية العامة في مجموع عشيرة الآفة. وإذا لم تتوافر اللياقة بصورة مُكثفة للغاية، فإن جين (أو جينات) المقاومة قد تتراكم تدريجياً في عشيرة الآفة.

التركيز على الآفة

من المهم عند وضع خطة إدارة السيطرة على المقاومة لفعل المبيدات أن يتوافر أكبر قدر ممكن من المعلومات عن بيولوجيا الآفة وعوائلها. وتُعد هذه المعلومات جوهرية من أجل فهم كيفية فقد الحساسية وتطور المقاومة في الآفة المستهدفة. وينبغي أن تشمل خطة إدارة المقاومة معالجة المنطقة بأكملها التي تتواجد بها الآفة وليس فقط المحصول موضع الاهتمام. ومن الناحية النموذجية، ينبغي تنفيذ هذه الخطة على منطقة كاملة مزروعة بالمحاصيل مع التركيز على الآفة، فضلاً عن التركيز على محصول بعينه، إلى جانب الموافقة الشاملة من قبل كافة المزارعين بالمنطقة قدر الإمكان، حتى ولو كان هناك بعض من عدم التوافق الذي قد يقلل من الجهود المبذولة في الخطة الشاملة لإدارة المقاومة إلا أنه سيكون أفضل.

أما في حالة المبيدات الفطرية، فينبغي أن يتم تنفيذ خطة إدارة المقاومة في منطقة شاسعة من الناحية الجغرافية التي عادة ما تكون مناطق كاملة أو بلدان بأكملها. وفي حالة مبيدات الحشائش، ينبغي التركيز على إدارة السيطرة على الأعشاب من خلال التعاقب المحصولي التام (الدورات الزراعية الكاملة).

وضع العوائل المحصولية المجاورة في الاعتبار

لإدارة السيطرة على ظاهرة المقاومة في الحشرات، فإنه ينبغي وبصفة خاصة وضع العوائل النباتية البديلة للآفة التي تقع في المناطق المجاورة للعوائل المحصولية الأساسية في الاعتبار عند إجراء المعاملة بالمبيدات. ومن المُحتمل أن يوجد كثير من نفس الآفات الحشرية على محاصيل أخرى من تلك التي تنمو على مقربة من العوائل المحصولية الأساسية أو التي يتم زراعتها في التعاقب المحصولي، أو من العوائل البرية الموجودة في نفس المنطقة. وإذا حدث واستخدمت نفس المبيدات أو مبيدات ذات صلة من الناحية الكيميائية على كافة المحاصيل، فإن عشائر الآفة تقع تحت ضغط انتخابي أكثر بكثير مما هو متوقع حسابياً.

وعلى سبيل المثال، يوجد أنواع من الذباب الأبيض *Bemisia sp.* على كل من محاصيل القطن والخضروات الذي ينتقل بسهولة من أحد المحاصيل للآخر. فإذا تم تطبيق خمس معاملات بالمبيد مثلاً على القطن وخمس معاملات أخرى على محاصيل الخضروات، فإن حشرة الذباب الأبيض تستقبل بذلك عشرة معاملات إبادية أو بمعنى آخر وقعت عليها عشرة عمليات انتخاب سنوياً. وعندما يتم تقييم كل محصول على حدة، فإنه يبدو وكأن عشيرة الآفة وقعت عليها خمس عمليات انتخاب فقط في السنة. وعلى ذلك فمن المهم أن يؤخذ ذلك في الاعتبار عند وضع خطط إدارة مقاومة الآفات للمبيدات. كما أنه إذا تم النظر إلى كل محصول بصورة منفصلة، فإنه من المحتمل جداً أن يكون الضغط الانتخابي الواقع على مجموع عشيرة الآفة أقل من قيمته الفعلية، خاصة في حالة اختلاف المزارعين والمتخصصين المعنيين بشأن هذه المحاصيل.

الأخذ في الاعتبار تدابير بديلة (غير كيميائية) لإدارة مكافحة الآفات

تمشيا مع مبادئ واستراتيجيات الإدارة المتكاملة لمكافحة الآفات (IPM)، ينبغي أن تشمل خطة إدارة السيطرة على مقاومة فعل المبيدات على أكبر عدد ممكن من الوسائل والأدوات البديلة غير الكيميائية لمكافحة الآفات طالما أنها تسهم بشكل فعال في السيطرة على الآفات. وتتضمن هذه الوسائل المبيدات الحيوية للآفات وعوامل مكافحة البيولوجية كالمفترسات والطفيليات، وأصناف المحاصيل المقاومة، وتوقيت الزراعة المناسب للحد من مخاطر الإصابة، وتطبيق نظام التعاقب المحصولي (الدورة الزراعية)، والعمليات الزراعية الأخرى التي من شأنها أن تتداخل في دورات تكاثر الآفات، والعناية بالممارسات الصحية مثل تنظيف الأجهزة والمعدات لمنع انتشار البذور والأبواغ (الجراثيم)،... الخ.

استخدام أكثر من مجموعة من المجموعات الكيميائية التابع لها مبيدات الآفات

يجب أن تتضمن خطة إدارة السيطرة على مقاومة الآفات لفعل المبيدات أكبر عدد ممكن من المجموعات المختلفة التابع لها المبيدات وذلك لتجنب نشوء وتطور ظاهرة المقاومة المشتركة، وهي مقاومة سلالة لمبيد ما دون أن تكون الأجيال السابقة لهذه السلالة قد تعرضت لهذا المبيد من قبل ولكن تكون قد تعرضت لمبيد آخر. وكلما زاد استخدام المركبات التي لا تحدث مقاومة مشتركة (التي ليست ذات صلة

ببعضها) كلما قل الضغط الانتخابي للمقاومة على أي من المبيدات الأخرى المستعملة. ويمكن استخدام مثل هذه المبيدات التابعة لمجاميع مختلفة في تناوب (تطبيقات متبادلة) أو باستخدام مخاليط جاهزة من مستحضرات المبيدات أو مزج بعض المركبات في خزان المبيدات من التي لها طرق فعل (أو تأثيرات) مختلفة على الآفات وأيضاً من التي تحتاج إلى آليات مختلفة لمقاومتها من قبل الآفات. ويمكن الحصول على التصنيف الخاص بطرق فعل المبيدات سواء المبيدات الفطرية أو مبيدات الحشائش أو المبيدات الحشرية من خلال الروابط الواردة في الملحق رقم-1.

الأخذ في الاعتبار كافة المعاملات التي تمت خلال العام

لابد أن تأخذ خطة إدارة السيطرة على مقاومة فعل المبيدات في الاعتبار كافة المعاملات بالمبيدات التي تمت على محصول ما خلال العام، بما في ذلك المعاملات باستخدام المركبات المختلفة وأطوار حياة الآفة التي تمت ضدها المعاملات، حيث تحدث بعض عمليات الانتخاب للمقاومة في كل مرة يتم فيها تطبيق المبيد. وعلى العموم، كلما زادت المعاملات بالمبيد وزادت معها أطوار حياة الحشرة وأجيال الممرض النباتي التي يتم مُعاملتها، كلما زادت سرعة فقد الحساسية وزادت صفة المقاومة مالم تُتخذ التدابير التي من شأنها أن تخفف من حدة انتخاب وتكرار جينات المقاومة في مجموع عشيرة الآفة.

وعلى سبيل المثال، إذا تمت معاملة حشرات التربة بأحد مبيدات التربة، فعلى الأرجح أن يحدث ضغط انتخابي للمقاومة من قبل اليرقات. وربما تنجو بعض اليرقات متغايرة الزيغوت (متغايرة الألائل) لصفة المقاومة (RS) نظراً لصعوبة وصول تركيزات متجانسة من المبيد إليها داخل التربة. فإذا حدث وإن نتجت حشرات كاملة من اليرقات التي سبق معاملتها ثم عوملت بنفس المبيد أو بمبيد آخر ذات صلة كيميائية، فسوف تحدث عملية انتخاب ثانية لذلك الجيل. وعلى ذلك سيكون طورين لهذه الآفة قد وقع عليهما الانتخاب. هذا وقد يحدث قتل بعض الأفراد المقاومة من اليرقات متغايرة الزيغوت (RS) التي نجت من معاملة التربة عندما يتم معاملتها في طور الحشرة الكاملة. إلا أنه مع مرور الوقت سوف تتراكم الأفراد المقاومة في مجموع عشيرة الآفة. ولتجنب ذلك الأمر ينبغي استخدام المركبات التي ليست لها صلة بالمركب الذي سبق استخدامه كلما أمكن ذلك، لمعاملة كلا من اليرقات والحشرات الكاملة.

وبالمثل، إذا كانت هناك آفة تصيب العديد من المحاصيل على مدار السنة ويتم استخدام نفس المركبات أو مركبات ذات صلة بها على كافة المحاصيل، فعلى الأرجح أن تقع عشيرة الآفة تحت ضغط انتخابي أكثر بكثير مما هو متوقع حسابياً، حيث يرجع ذلك إلى عدم الأخذ في الاعتبار جميع المحاصيل المزروعة وأيضاً مرات المعاملة بالمبيدات.

تطبيق معدلات استخدام الجرعات الموصى بها فقط من مبيدات الآفات

ينبغي دائماً تطبيق معدلات الاستخدام الصحيحة من الجرعات وفقاً لما هو وارد ببطاقة بيانات المبيد. والقيام بخفض معدلات استخدام المبيد بهدف تقليل التكلفة قد يبدو بأنه يفي بإجراء مكافحة الآفة على النحو المطلوب، غير أن ذلك يكون في واقع الأمر بصورة وقتية فقط. والاستمرار في تطبيق معدلات استخدام المبيد أقل مما هو وارد ببطاقة بيانات المبيد سوف يؤدي إلى زيادة في انتخاب الأفراد المقاومة متغايرة الزيغوت (متغايرة الألائل) (RS) ومتماثلة الزيغوت (متماثلة الألائل) لصفة المقاومة (RR)، وهذا سوف يؤدي بدوره إلى تطور وتكوين عشيرة مقاومة تماماً. بينما استخدام المعدلات الصحيحة من

جرات المبيد وفقاً لبطاقة البيانات الخاصة به سوف يعمل على إزالة الأفراد المقاومة متغايرة الزيغوت (متغايرة الألائل) من مجموع عشيرة الآفة ويبطئ بشكل كبير من تكوين عشيرة مقاومة للآفة.

إشراك أصحاب المصلحة في استراتيجيات إدارة مجابهة المقاومة للمبيدات

لكي تكون هناك فرصة لنجاح أي استراتيجية لإدارة السيطرة على مقاومة فعل المبيدات لابد وأن يتفق عليها جميع أصحاب المصلحة، بما في ذلك المزارعين، ومسؤول تسجيل المبيدات، وشركات وموزعين مبيدات الآفات، ووزارة الزراعة و وحدات الخدمات الإرشادية. ويجب أن تكون هذه الاستراتيجية مفهومة ومقبولة من قبل المزارعين على وجه الخصوص. وبالنسبة لخطط إدارة السيطرة على مقاومة فعل المبيدات التي تشمل مناطق واسعة، كالخطط التي يتم تصميمها لإدارة ظاهرة المقاومة للمبيدات الفطرية، فإن التعاون على المستويين المحلي والإقليمي يُعد من الأمور الأساسية لنجاح وتطوير وتنفيذ مثل هذه الخطط.

تقييم وتنقيح خطة إدارة السيطرة على مقاومة فعل المبيدات

تُعد ظاهرة تكوين المقاومة عملية ديناميكية فهي في حراك وتطور على نحو مستمر؛ وعلى ذلك، ينبغي أن تتسم خطة إدارة السيطرة على مقاومة فعل المبيدات (RMP) بالمرونة. ولكي تظل هذه الخطط فعالة ينبغي إعادة تقييمها وتثبيتها بشكل مستمر بما يتماشى مع التغيير في الأحوال مثل التغيير في مستوى مقاومة الآفة للمبيد أو توافر مبيدات جديدة والتي تتميز بطرق فعل أو تأثيرات جديدة أو توافر أصناف جديدة من المحاصيل تكون مقاومة للآفات.

3-3 تكتيكات إدارة السيطرة على مقاومة الآفات لفعل المبيدات – جميع أنواع مبيدات الآفات

مخالط مبيدات الآفات التي لديها طرق تأثير مختلفة على الآفة أو تجابه آليات مختلفة لمقاومتها من قبل الآفة

يمكن أن تكون مخالط مبيدات الآفات التي لها طرق تأثير (كيفية إحداث الفعل) مختلفة، فعالة في إدارة السيطرة على تطور المقاومة تجاه فعل المبيد. وتستخدم أنواع عديدة من مخالط المبيدات في مجال الزراعة ومكافحة الآفات. وعلى سبيل المثال، استخدام مخلوط من مبيدين مع أنواع مختلفة من الآفات، أو مخلوط (توليفة) من مبيدات الآفات ومعها مُنشط، أو استخدام مخلوط من مبيدات للحشرات ومبيد للفطريات، أو إضافة بعض العناصر الغذائية الدقيقة إلى مبيد للحشرات. الخ. وسنقتصر هنا على المخالط التي تسهم في إدارة السيطرة على مقاومة الآفات لفعل المبيدات.

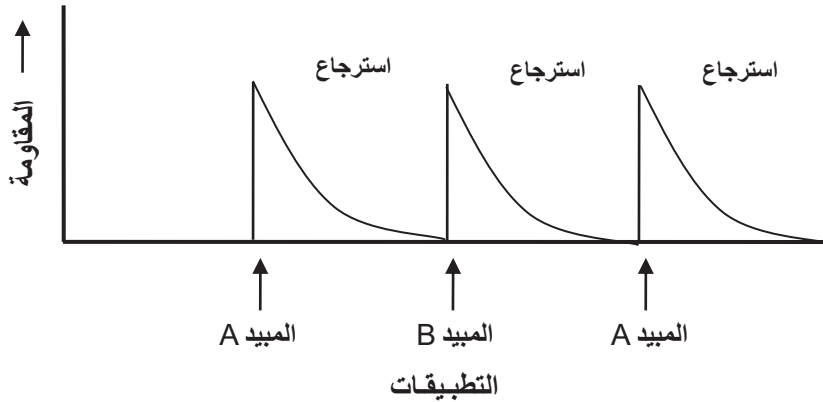
أثبتت التجارب أن منتجات المخالط سابقة التجهيز وبعض مخالط خزان المبيدات تكون ناجحة نسبياً في مكافحة الآفات الحشرية وفي تأخير تطور المقاومة. ومع ذلك ينبغي دائماً وكما هو الحال مع استخدام المركبات بمفردها، أن تكون المخالط بمثابة جزء من خطة إدارة مقاومة الآفات لفعل المبيدات. وقد أُعدت المخالط الناجحة أو منتجات المخالط سابقة التجهيز لحالات محددة ولكن بعد مراجعة ودراسة متأنية للنظام المحصولي، والتأثيرات على الكائنات النافعة من مفصليات الأرجل، وتجمعات الآفة. وإذا كان مجموع عشيرة الآفة لديها مقاومة شديدة لأي من المكونات في خليط المبيدات، فإن استخدام المخلوط قد يؤدي إلى تدهور الوضع بظهور ما يُعرف بالمقاومة المتضاعفة أو المتعددة (وجود عدة آليات مختلفة لمقاومة فعل المبيد في ذات الوقت) في أفراد عشيرة الآفة.

- يتم إعداد الخليط بالشكل الذي يعمل على تطبيق كلا المبيدين في المخلوط وفقاً لمعدلات الاستخدام الخاصة بكل منهما والواردة بملصق البيانات. حيث أن تطبيق المعدلات التي تكون كافية بالكاد لإحداث التأثير، فمن المرجح إلى حد كبير أن تؤدي إلى تطور المقاومة، نظراً لعدم كفاية الجرعة المستخدمة لقتل الأفراد المقاومة متغايرة الزيغوت (RS).
- أن تكون فترة نشاط متبقيات كلا المركبين في المخلوط متماثلة على وجه التقريب، وإلا فإن المركب الذي يكون نشاطه أقصر سوف ينهار، فيما تبدأ عمليات الانتخاب للمكون الآخر ذو المتبقيات الأطول نشاطاً وظهور المقاومة تجاهه.

تناوب أو تبادل استخدام مبيدات الآفات

يُعد تناوب استخدام مبيدات الآفات تكتيكاً أو أسلوباً آخر للسيطرة على تطور ظاهرة المقاومة. ويشير هذا التكتيك إلى (1) أن أفراد الآفة المقاومة لكلا المبيدين تكون نادرة، ومن ثم فإن الأفراد التي تنجو من المعاملة الأولى بالمبيد وظلت حية سوف تُقتل بالمعاملة التالية، وأن (2) النسبة المئوية لأفراد الآفة المقاومة سوف تنحسر في حالة غياب المبيد بسبب عدم الاستقرار النسبي لآليات المقاومة. وحتى يكون التكتيك فعالاً لا بد وأن يفي بالمتطلبات التالية:

- يجب أن تتبع مبيدات الآفات التي يتم تناوب استخدامها لمجاميع كيميائية ليست ذات صلة، ولا تُحدث مقاومة مشتركة [انظر الملحق الأول تصنيف طرق تأثير المبيد (كيفية إحداث الفعل)]؛
- يجب أن يكون المبيدين اللذين يتم التناوب بينهما على درجة متساوية من حيث الفعالية عند استخدامهما بالمعدلات الواردة ببطاقة البيانات.
- يجب أن تكون الفترات الفاصلة بين تطبيقات المبيدات التي يتم تناوبها طويلة بالقدر الكافي لاستعادة أو استرجاع أفراد الآفة مستوى حساسيتها الأصلي، كما يتضح في شكل (5) (حيث يشير المصطلح استرجاع Recovery إلى استعادة الحساسية لحالتها الأولى).



شكل 5 - يوضح تأثير تناوب أو تبادل المركب على مستوى المقاومة لفعل المبيد الحشري عند استخدامه في برنامج إدارة السيطرة على مقاومة الآفة لتأثيره.

مثال لإدارة السيطرة على مقاومة فعل المبيدات بتطبيق تناوب استخدام المبيدات والمكافحة الحيوية

برنامج مكافحة داء كلابيات الذنب، العمى النهري *Onchocerciasis* في غرب أفريقيا

في غرب أفريقيا، أشرفت منظمة الصحة العالمية (WHO) على إدارة برنامج لمكافحة داء كلابيات الذنب، العمى النهري، (OCP) الذي استند بشكل كلي تقريباً على تطبيق معاملات أسبوعية بمبيد لليرقات في الأنهار لقتل يرقات الذبابة السوداء *Simulium* الناقلة للمرض. وقد استمرت عمليات الرش أسبوعياً لمدة خمسة عشر عاماً على الأقل في ثمان بلدان، مما أدى إلى وقوع ضغط انتخابي عالي جداً على مجموع عشيرة الآفة الناقلة للمرض. وبعد مواجهة سريعة لمشاكل خطيرة نتيجة مقاومة فعل مبيد التيميفوس، وهو المبيد الوحيد الذي استخدم في المراحل المبكرة من البرنامج، تم تعزيز عمليات رصد المقاومة من خلال هذا البرنامج (OCP) ووضع مخطط فعال جداً لإدارة السيطرة على المقاومة التي ظهرت، حيث حل ذلك المخطط محل الاستخدام المستمر لمبيد واحد مثل المبيد الفسفوري تيميفوس وتم تناوب استخدام منتجات ليست ذات صلة كيميائية في نظام مخطط مسبقاً. فقد استخدمت المركبات الفسفورية العضوية لفترات محدودة إلى جانب مبيدات اليرقات الميكروبية باسيلس ثورنجينسيس إسريلينسيس *Bacillus thuringiensis israelensis (Bti)*، ومبيدات البيروثرويدات والكاربامات. واستخدمت مبيدات اليرقات الميكروبية *Bti* والكيميائية بشكل استراتيجي استند على حالة المقاومة واتجاهها، وعلى ديناميكية عشائر الآفة الناقلة للمرض، والتأثير البيئي، والتكلفة، والعوامل اللوجيستية.

وظلت هذه الاستراتيجية تطبق بنجاح على مدار 17 عاماً منذ تنفيذها. مما كان باعثاً على تراجع المقاومة إلى الدرجة التي كان من الممكن معها إعادة استخدام مبيد التيميفوس ضمن مخطط تناوب استخدام المبيدات، والتي لم تحدث إطلاقاً عندها أيضاً تكوين للمقاومة في المناطق التي لم يسبق وأن وجدت بها. كما لم يحدث وأن تطورت المقاومة تجاه أي من المبيدات الحشرية الأخرى المستخدمة بالرغم من توافر إمكانيات حدوث الانتخاب في عشائر الذباب الأسود تجاه هذه المبيدات. وقد سمح الاستخدام الموسع للمبيد الميكروبي باسيلس *Bti* ليرقات الذباب، باعتباره أحد الوسائل لمكافحة الحشرات بتوكسينات متعددة، بإدارة ناجحة للسيطرة على ظاهرة المقاومة بدون أي علامات يمكن قياسها أو تأثيرات من الممكن تحديدها على المدى الطويل في التوازن البيولوجي في الأنهار المعاملة.

3-4 تكتيكات إدارة السيطرة على مقاومة فعل المبيدات الفطرية

يوجد عدد كبير من التكتيكات أو الوسائل الكفيلة بإدارة السيطرة على المقاومة لفعل مبيدات الفطريات. تختلف هذه التكتيكات باختلاف المجاميع الكيميائية التابع لها هذه المبيدات، والممرض المستهدف، وأنواع المحاصيل، والمناطق الجغرافية، إلا أنه غالباً ما يكون ممكناً وفعالاً القيام بدمج اثنين أو أكثر منها معاً في خطة واحدة لإدارة السيطرة على المقاومة. وتشكل التكتيكات الموضحة أدناه الأساس لوضع خطة لإدارة السيطرة على مقاومة فعل المبيدات الفطرية. كما وضعت استراتيجيات لإدارة السيطرة على المقاومة للمجاميع الكيميائية المختلفة التي تتبعها المبيدات الفطرية.

تنفيذ استراتيجية الإدارة المتكاملة لمكافحة الأمراض (الإدارة المتكاملة للآفات).

إن الاستخدام المتكامل للعمليات الزراعية ومبيدات الفطريات لا يكون مفيداً فقط من الناحية الاقتصادية والناحية البيئية بل أيضاً يمثل استراتيجية رئيسية لمكافحة أمراض المحاصيل في الوقت الذي يتم فيه تجنب أو تأخير المقاومة لفعل المبيدات الفطرية. وللأسف، فإن الأساليب غير الكيميائية لمكافحة الأمراض ربما تكون ضعيفة أو غير مُتاحة، وبالتالي فقد أصبح استخدام المبيدات الفطرية الكيميائية هو السائد، بل قد يكون هو الإجراء الوحيد المضاد لكثير من الأمراض مثل مرض اللفحة المتأخرة في البطاطس، البياض الزغبي في العنب، ومرض تبقع أوراق الموز (سيجاتوكا)، ومرض التفحم النتن في القمح. وتتضمن خطط الإدارة المتكاملة لمكافحة الأمراض ما يلي:

الممارسات الزراعية

- استخدام أصناف المحاصيل المقاومة للمرض، وعوامل مكافحة البيولوجية، والممارسات الزراعية الصحية مثل التعاقب المحصولي (الدورة الزراعية)، وإزالة الأجزاء المريضة من النباتات المُعمرة، وذلك للحد من حدوث انتشار المرض.
- تجنب زراعة مساحات شاسعة بنفس الصنف من المحاصيل، على الأخص إذا كان من المعروف أن هذا الصنف حساساً.
- تعقيم التربة والمعدات للمساعدة في منع انتشار مسببات المرضية. ويُعد ذلك صحيحاً بصفة خاصة مع نباتات البيوت الزجاجية (الدينيات).
- إطالة الفترات الفاصلة في نظام التعاقب المحصولي كلما أمكن ذلك، لتجنب انتشار مسببات الأمراض التي تنتقل عن طريق التربة.
- مراقبة الحقول على نحو متكرر لرصد ظهور أعراض المرض قبلما يتوطد ويصبح راسخاً.
- الاطلاع والإلمام بالظروف البيئية والمحصولية المرتبطة عموماً بتطور المرض.

استخدام مبيدات الفطريات

- استخدام مبيدات الفطريات فقط عندما تكون هناك حاجة مُلحة.
- استخدام مبيدات الفطريات بالمعدلات الواردة بملصق بيانات المبيد مع ضمان إجراء تغطية جيدة بمحلول الرش.
- تطبيق مبيدات الفطريات للحد من اشتداد الإصابة بأكثر أنواع الممرضات ضراوة والتي قد تؤثر حتى على أصناف النباتات التي كانت في السابق مقاومة للمرض.
- لا تستخدم المبيدات الفطرية التي تُطبق ضد المسببات المرضية التي تنتقل عن طريق التربة في مكافحة أمراض المجموع الخضري للنباتات.

استخدام مبيدات الفطريات التي لها طرق تأثير مختلفة كلما أمكن ذلك

إن إتاحة أنواع مختلفة من المبيدات الفطرية لكل من أمراض المحاصيل الرئيسية يعتبر مفيداً للغاية من الناحية البيئية، وأيضاً للتغلب على مشاكل المقاومة. والاستخدام المستمر لواحد فقط أو حتى لعدد قليل من المجموع الكيميائية التابع لها المركبات على مدى سنوات عديدة يشكل مخاطر من الآثار الجانبية كبيرة جداً. وتؤدي إلى حدوث المقاومة في الكائنات المستهدفة.

وينبغي استخدام مبيدات فطرية لها طرق تأثير مختلفة أو تطبيق تناوب المعاملات الإبادية المختلفة [انظر الملحق الأول- بشأن تصنيف طرق تأثير المبيدات (كيفية إحداث الفعل)]. وغالباً ما تتضمن خطط إدارة السيطرة على مقاومة فعل المبيدات الفطرية استخدام مخاليط المبيدات أو القيام بتناوب تطبيق المعاملات أو منع المعاملات بمركبات يحتمل أن يحدث تطور للمقاومة تجاهها، وكذلك استخدام مخاليط مكوناتها ليست ذات صلة كيميائية، الأمر الذي من شأنه أن يساعد في مكافحة أكبر عدد من الأمراض علاوة على السيطرة على ظاهرة المقاومة.

ويعمل تطبيق المركبات "الشريكة" أو "القرينة" سواء في المخلوط أو في نظام تناوب الاستخدام على الحد من الضغط الانتخابي من قبل المبيدات التي تقع في دائرة مخاطر حدوث المقاومة، كما أنها تعمل أيضاً على تثبيط معدل زيادة أي من السلالات المقاومة التي قد تظهر. وعلى العموم، فإن مبيدات الفطريات الشريكة الجيدة تكون ذات مثبطات لمواقع متعددة فعالة ضد المرض وتتسم باحتمالات قليلة من مخاطر حدوث المقاومة تجاهها. ومع ذلك، فمن الممكن استخدام مبيد فطري بموقع فردي معروف بأنه ليس ذي صلة بالمركب القرين له في المخلوط فيما يتعلق بحدوث مقاومة مشتركة (أو بعدم ظهور مقاومة معروفة تجاهه) بسبب طريقة التأثير المماثلة للمبيد. واستخدام أحد المخاليط المكونة من مبيدين للفطريات كلا منهما له موقع واحد، لا بد وأن يحمل بعض المخاطر من إمكانية حدوث انتخاب سلالات ذات مقاومة مزدوجة، إلا أن فرصة حدوث طفرات مزدوجة في آن واحد ستكون ضعيفة جداً إذا ما قورنت بإمكانية حدوث طفرة واحدة.

تقييد عدد المعاملات في الموسم الواحد، وتطبيقها فقط في حالة الضرورة القصوى

هذا النهج يماثل نهج تناوب استخدام المبيدات حيث يقلل من إجمالي عدد المعاملات بمبيد الفطريات المعرضة لخطر حدوث المقاومة، وبالتالي يعمل على إبطاء انتخاب المقاومة إلى حد ما. كما أنه يعمل على تقليل فرصة ظهور السلالات المقاومة التي تعاني من نقص اللياقة. ومع ذلك، فإن التأخير في ظهور المقاومة ربما لا يكون متناسباً مع خفض عدد مرات إجراء الرش بالمبيد، وذلك لأن المعاملات التي لا تزال تُطبق عادة ما تتزامن مع مراحل الأوبئة الأكثر نشاطاً حيث يكون الضغط الانتخابي على أشده. ومن جهة أخرى، فإن انقطاع استخدام المبيدات لفترات طويلة في الوقت الذي يكون فيه الممرض لا يزال يتضاعف قد يسمح بعودة ظهور الممرض ولكن في أنماط أخرى أكثر حساسية.

استخدام الجرعات الفعالة الموصى بها

يجب أيضاً أن تُطبق مبيدات الفطريات بالجرعات الموصى بها، وذلك لضمان فعاليتها تحت مدى واسع من الظروف. واستعمال جرعات مُخفضة يمكن أن يُسرّع من تطور المقاومة.

تجنب استخدام مبيدات الاستئصال

يمكن لمبيدات الفطريات الجهازية أن تستأصل أو تعالج الإصابات الموجودة. وهذه الخاصية المميزة تساعد إلى حد كبير في استخدامها على أساس الحد الحرج، حيث يتم تطبيق هذه المبيدات فقط عندما يكون حجم الإصابة الموجودة بالفعل غير مقبول من الناحية الاقتصادية. ومع ذلك، في بعض الحالات خاصة عندما يكون المبيد عبارة عن خليط مكون من مبيد جهازي وآخر غير جهازي لا يوصى باستخدامه سواء للعلاج أو استئصال الإصابة حيث أنه يمكن أن يوقع ضغطاً انتخابياً شديداً على المسبب

المرضي تجاه المبيد. وينبغي تجنب استخدام مركبات الفيناييل أميدات باعتبارها مركبات مستأصلة، على الأخص إذا كان استخدامها لمكافحة الأمراض على المجموع الخضري وكان في شكل خليط من مبيد فطري مرتبط بمواقع متعددة، حيث لا يعمل الأخير كمستأصل للإصابة، وذلك لأن المكون الجهازي (فيناييل أميد) يؤثر بمفرده عندما يطبق المخلوط على الإصابات الموجودة، الأمر الذي من شأنه أن يعمل على زيادة الضغط الانتخابي.

وتجنب استخدام المبيدات الفطرية كمستأصلات للإصابة يمكن أن يؤخر ظهور المقاومة لأسباب أخرى قد تكون أكثر قابلية للتطبيق على نطاق واسع. والانتظار حتى يبلغ ظهور مجموع عشيرة المسبب المرضي الحد الحرج، عادة ما يعني أن كثير من المواضع المصابة بالجراثيم أو الأبواغ (تغطي حوالي 5% من حجم المجموع الخضري للنبات) تكون مُعرضة للمبيد الفطري. ومن المُحتمل أن تكون الفرصة لحدوث انتخاب لصفة المقاومة أكثر بكثير مما لو استخدم المبيد كعامل وقائي لحفظ مستوى مجموع عشيرة الممرض منخفض بصفة دائمة.

3-5 تكتيكات إدارة السيطرة على مقاومة فعل مبيدات الحشائش

إن الأساس في إدارة السيطرة على مقاومة فعل مبيدات الحشائش هو استخدام نظام مُستدام من شأنه أن يعمل على دمج وتكامل طرق مكافحة الفيزيائية (الطبيعية) والكيميائية والبيولوجية مع الابتعاد عن الاعتماد المفرط على طريقة واحدة منها. وعلى المدى القصير، فإن أي ممارسات للإدارة التي من شأنها أن تحد من الضغط الانتخابي للمقاومة، مثل تغيير مبيدات الحشائش، سوف يؤدي إلى خفض معدل تطور الحشائش المقاومة. بينما على المدى المتوسط والطويل، فإنه من الضروري توافر برنامج يتضمن دمج إدارة المحاصيل والاستخدام الاستراتيجي لوسائل مكافحة الحشائش الكيميائية والميكانيكية. وعندما يتم توظيف هذه الأساليب في إطار نهج متكامل فإنها سوف تساعد على خفض الضغط الانتخابي وتقلل إلى حد كبير من فرصة استمرار بقاء الحشائش المقاومة حية.

إدارة المحاصيل

فيما يلي أساليب راسخة تم وضعها لإدارة المحاصيل وينبغي استخدامها بصفة دائمة:

- تناوب زراعة المحاصيل مع استخدام أنماط مختلفة من مبيدات الحشائش و/أو دورات النمو، وذلك لتجنب تتابع زراعة المحاصيل في نفس الحقل مما يتطلب استخدام مبيدات للحشائش لها نفس طريقة التأثير (نفس كيفية إحداث الفعل) لمكافحة نفس أنواع الحشائش أو الأعشاب الضارة. وزراعة محاصيل مختلفة يسمح بتناوب استخدام مبيدات الحشائش التي لديها طرق مختلفة لإحداث الفعل، كما يعمل أيضاً على تجنب أو تعطيل موسم نمو الحشائش. وبالإضافة إلى ذلك، فإن المواعيد المختلفة لتحضير مهد البذرة وزراعة المحاصيل (عمليات البذر) تسمح باستخدام أساليب متنوعة للعمليات الزراعية للسيطرة على مشكلة أحد أنواع الحشائش. وعلاوة على ذلك فإن المحاصيل المختلفة تختلف أيضاً في قدرتها التنافسية المتأصلة والطبيعية ضد الحشائش، وبالتالي يكون لدى المحاصيل التنافسية فرصة أفضل لتقييد إنتاج بذور الحشائش بشكل كبير.
- تأخير زراعة المحصول بحيث يمكن مكافحة النموات الأولية الغزيرة للحشائش بأحد مبيدات الحشائش غير الانتقائية (المتخصصة).

- النقاوة اليدوية للحشائش، فلاحة الأرض أو حرث التربة قبل القيام بعمليات البذر، وذلك لمكافحة النباتات التي تكون قد ظهرت ودفن البذور التي لم يتم إنباتها. ويؤدي اتباع مثل هذه الأساليب إلى عدم حدوث ضغط انتخابي، كما تساعد إلى حد كبير في خفض محتوى بنك بذور التربة (التخزين الطبيعي للبذور الحية الساكنة في التربة).
- استخدام بذور المحاصيل الموثوق بها الخالية من الحشائش.
- تشجيع الرعي فيما بعد الحصاد، حيثما يكون ذلك ممكناً من الناحية العملية.
- حرق القش (ما يبقى في الأرض بعد الحصاد)، حيثما تسمح الظروف بذلك، للحد من خصوبة بذور الحشائش.
- تقطيع حقول قش التبن أو العلف لمنع تجميع بذور الحشائش وذلك في حالات الضرورة القصوى التي يكون فيها حدوث المقاومة مؤكداً.
- الحفاظ على المعدات نظيفة من بذور الحشائش لتجنب انتشارها ألياً.

الوسائل الكيميائية: تناوب استخدام مبيدات الحشائش والمخاليط

أشارت دراسات عديدة إلى جدوى وضرورة استخدام مبيدات الحشائش ذات طرق التأثير المتعددة لمنع بدء ظهور المقاومة والتصدي لها قبل أن تظهر وذلك في كثير من التركيبات المختلفة للمحصول/المبيد/الحشائش. وقد شملت الدراسات المتتابعة ما يلي: تطبيق مخاليط مبيدات الحشائش؛ التطبيقات المتتالية المستخدمة على نفس المحصول فيما بعد الإنبات؛ تطبيقات ما قبل الإنبات بمبيد حشائش للتربة فعال، تليها معاملات فيما بعد الإنبات بمركبات فعالة على نفس المحصول، هذا بالإضافة إلى تناوب استخدام مبيدات الحشائش في سنوات مختلفة/ على محاصيل مختلفة ضمن التناوب المحصولي (الدورة الزراعية).

غير أن تناوب استخدام مبيدات الحشائش وحده لا يكفي لمنع تطور المقاومة، بل يجب تطبيق تناوب استخدام المركبات الكيميائية، على الأقل، مع بعض التدابير غير الكيميائية لمكافحة الحشائش. وفي حالات تواجد المقاومة الأيضية (الاستقلابية) بالفعل، فإن طريقة تأثير مبيد الحشائش (كيفية إحداث الفعل) لا تكون دائماً هي المعيار الأساسي. وتحت هذه الظروف، فإن آلية انهيار المبيد يمكن أن تكون مهمة جداً ويمكن تجنبها من خلال تبديل المجاميع الكيميائية، التابع لها مبيد الحشائش، التي لديها طرق تأثير وتراكيب كيميائية مختلفة. ومن غير المتاح حتى الآن تصنيف لمبيدات الحشائش يتعلق بانهيارها. وتحتاج مثل هذه الحالات أن يتم التعامل معها على أساس كل حالة على حدة.

وينبغي اختيار المركبات من مجموعات كيميائية تختلف في طريقة تأثيرها أو كيفية فعلها لمكافحة نفس أنواع الحشائش سواء كانت بتطبيق المعاملات المتناوبة أو المخاليط. وهناك تصنيف متاح لمبيدات الحشائش وفقاً لكيفية إحداث الفعل، يتم تحديثه على نحو منتظم (انظر الملحق الأول)، وهذا التصنيف يمكن أن يكون مفيداً عند التخطيط لبرامج مكافحة الحشائش.

وفيما يلي بعض الخطوط الإرشادية التي ينبغي اتباعها بشأن تناوب استخدام مبيدات الحشائش ومخاليطها:

- استخدام مبيدات الحشائش ذات الأثر المتبقي القصير.

- تناوب زراعة المحاصيل التي لها مواسم نمو مختلفة كلما كان ذلك ممكناً.
- تجنب الاستخدام المستمر لنفس مبيدات الحشائش أو تلك المبيدات التي لها نفس كيفية إحداث الفعل (طريقة التأثير) في نفس الحقل، ما لم يكن بينها تكامل مع ممارسات أخرى لمكافحة الحشائش.
- الحد من عدد المعاملات بمبيد حشائش بمفرده أو مبيدات لها نفس كيفية إحداث الفعل خلال موسم زراعي واحد.
- حيثما يكون ذلك ممكناً، استخدم المخاليط أو المعاملات المتناوبة لمبيدات الحشائش التي تختلف في كيفية إحداث الفعل، وتكون فعالة على نفس النوع المستهدف من الحشائش. وحتى تكون المخاليط فعالة ينبغي أن تكون كلا من المواد الفعالة على مستوى عالٍ في مكافحة الحشائش المستهدفة.
- استخدم مبيد حشائش غير انتقائي (غير متخصص) لمكافحة نموات الحشائش المبكرة قبل ظهور المحصول.
- استخدم دائماً مبيدات حشائش فيما بعد ظهور النموات العشبية بالجرعة الموصى بها على مُلصق بيانات المبيد، وفي التوقيت الموصى به أيضاً أو حسب مرحلة نمو العشب.

إرشادات إضافية لإدارة السيطرة على مقاومة فعل مبيدات الحشائش

- ينبغي أن يكون المزارعين على دراية بأنواع الحشائش التي تصيب حقولهم وأيضاً بتلك الأنواع الموجودة من الحشائش بالأراضي المجاورة غير المزروعة بالمحاصيل. كما ينبغي، حيثما يكون ذلك ممكناً، وضع برامجهم الخاصة بمكافحة الحشائش وفقاً لكثافات هذه الحشائش و/أو الحد الاقتصادي الحرج لإجراء المعاملات الإبادية.
- يجب اتباع التعليمات الخاصة باستخدام مبيد الحشائش بعناية وفقاً لما هو وارد ببطاقة بيانات المبيد، على الأخص فيما يتعلق بمعدلات الاستخدام الموصى بها ومواعيد التطبيق.
- رصد نتائج المعاملات بمبيدات الحشائش على نحو منتظم حتى يكون المزارعين على بينة بالاتجاهات أو التغييرات في مجاميع عشائر الحشائش الموجودة.
- الاحتفاظ بسجلات ميدانية (للحقول المزروعة) مفصلة حتى يمكن الإلمام بتاريخ زراعة المحاصيل ومبيدات الحشائش المستخدمة.

3-6 تكتيكات إدارة السيطرة على مقاومة فعل المبيدات الحشرية

من المهم عند إدارة تطور مقاومة الحشرات لفعل المبيدات الحشرية الأخذ في الاعتبار أن الهدف الأساسي هو حماية المحصول فضلاً عن مكافحة الآفة، وليس بالضرورة قتل جميع أفراد عشائر الآفة. وينبغي اتباع استراتيجية شاملة لتجنب الإفراط في استخدام أحد المبيدات ممن لها كيفية واحدة لإحداث الفعل (طريقة التأثير). وفيما يلي بعض التكتيكات أو الأساليب الإضافية لإدارة السيطرة على مقاومة فعل المبيدات الحشرية:

التكتيكات المناطقية لإدارة المقاومة إزاء المحصول والآفة

تركز تكتيكات أو أساليب إدارة السيطرة على المقاومة فيما يتعلق بالمحصول والآفة على التركيبات الفردية التي تجمع ما بين محصول ما وآفة معينة، في توليفة واحدة. وتُعد هذه التكتيكات مناسبة عندما

تكون المنطقة المزروعة بالمحصول كبيرة ويوجد بها نوع واحد من الآفات بشكل أساسي (مثال ذلك، دودة البراعم *Helicoverpa* على الطماطم) ويراد معالجتها بأحد المبيدات الحشرية.

ومع ذلك، ففي المناطق الزراعية والبستانية عادة ما يوجد العديد من أنواع المحاصيل وأنواع الآفات. وفي الحالات التي يُستخدم فيها واحد أو أكثر من مبيدات الحشرات التي لديها كيفية واحدة لإحداث الفعل في هذا المدى الواسع من المحاصيل لمكافحة آفات متعددة والتي يمكن أن تنتقل من محصول إلى آخر على وجه السرعة، فإنه من المرجح جداً أن تتزايد مخاطر المقاومة. وعلى سبيل المثال، فإن التكتيكات المستخدمة لإدارة السيطرة على مقاومة الفراشة ذات الظهر الماسي *Plutella xylostella* على نبات الكرنب قد تتعرض للخطر نتيجة استخدام مبيدات حشرية مماثلة على نطاق واسع ضد هذه الفراشة ولكن على نبات الكانولا. وبالإضافة إلى ذلك، فإن مجاميع عشائر الآفة على محصول معين يمكن أن تختلف باختلاف مناطق زراعته وبالتالي فإن التكتيكات المتعلقة بتوليفة فردية للمحصول والآفة قد تكون معيبة.

والبديل لهذه التكتيكات الخاصة بالتوليفات الفردية للمحصول والآفة هو ما يُعرف بـ"التكتيكات المنطقية"، حيث توضع خطط متكاملة لإدارة السيطرة على مقاومة آفات متعددة على محاصيل متنوعة في مناطق جغرافية معينة وليس مجرد اللجوء إلى التوليفات الفردية للآفة والمحصول. والأمثلة على ذلك كثيرة منها الاستراتيجيات المتكاملة لإدارة السيطرة على مقاومة الآفات للمبيدات على الحبوب والمحاصيل البستانية الحولية في نيوزاوث ويلز وفيكيتوريا، في استراليا، أو على الخضروات في فلوريدا في الولايات المتحدة الأمريكية.

ممارسات عامة

يُوصى باتباع التكتيكات أو الأساليب التالية لإدارة السيطرة على مقاومة فعل المبيدات الحشرية للحد من مخاطر ظهورها:

استخدام نهج متكامل

تتطلب إدارة السيطرة على مقاومة فعل المبيدات الحشرية وضع كافة الجوانب المتعلقة بإنتاج المحصول في الاعتبار، والتي تشمل الممارسات الزراعية، طرق مكافحة الطبيعة والبيولوجية، وبيولوجيا الآفة الحشرية. ويمكن القول ببساطة أن الامتثال لمفاهيم الإدارة المتكاملة للمحاصيل يمكن أن يساعد في منع ظهور أو تطور المقاومة. ومن هذه المفاهيم على سبيل المثال، إجراء عمليات الرصد والالتزام بالحدود الحرجة الموصى بها فيما يتعلق بأعداد الآفة ومستوى الضرر الذي تحدثه، وضع منافع الأعداء الطبيعية في الاعتبار، اتخاذ التدابير الأولية بشأن السلامة البيئية، إزالة بقايا ما بعد الحصاد من الحقل، استخدام الأصناف النباتية المقاومة، والتجنب التام للزراعة المستمرة لمحصول واحد على مدار السنة. ومن المهم التشديد على أن مراعاة مثل هذه الأمور سوف يساعد في إبطاء أو منع تطور المقاومة.

حماية الكائنات الحية النافعة

ينبغي حماية الأعداء الطبيعية، قدر ما يمكن، لأن مساهمة الكائنات الحية النافعة في مكافحة الآفات يمكن أن تكون ذات أهمية كبيرة في كثير من النظم المحصولية. ويمكن أن تلعب الكائنات الحية النافعة أيضاً دوراً هاماً في إدارة السيطرة على المقاومة، حيث أنها تساعد في مكافحة الآفة المستهدفة بغض النظر عن درجة مقاومة الآفة للمبيد أو آليات المقاومة التي تستخدمها، وبالتالي فإنها تساعد في إبطاء عملية انتخاب صفة المقاومة. ويمكن حماية الأعداء الطبيعية على سبيل المثال باستخدام مبيدات حشرية انتقائية

(متخصصة على الآفة) وتجنب تطبيق جرعات من المبيد مفرطة أو أكثر من اللازم، واللجوء إلى استخدام خيارات طرق مكافحة غير الكيميائية.

الالتزام بتطبيق معدلات الاستخدام الموصى بها للمبيد

ينبغي تطبيق معدلات الاستخدام الموصى بها للمبيد، والالتزام بالفترات الفاصلة بين المعاملات، وذلك وفقاً لما هو وارد بمُصقات بيانات المبيد. ويجب عدم استخدام معدلات أكثر أو أقل من الموصى بها على الإطلاق، لأن ذلك يمكن أن يؤدي إلى حدوث المقاومة و/أو إحداث تأثيرات غير مرغوب فيها على الكائنات الحية غير المستهدفة وعلى البيئة. وتؤكد دائماً من أن معدات وأجهزة الرش في حالة جيدة، وأن البشابير والمرشحات ليس بها سدد، لأن ذلك يتسبب في تطبيق معدلات رش غير صحيحة مما يكون باعثاً على حدوث تطور المقاومة.

تناوب استخدام مركبات ليست ذات صلة

استخدم مجموعات متنوعة من المركبات المسجلة لنفس الغرض المطلوب منها، وممن ليست ذات صلة كيميائية ببعضها، أي ممن لا تتسبب في إحداث مقاومة مشتركة؛ ويجب عدم استخدام مركب بمفرده أو مجموعة كيميائية بمفردها على الإطلاق دون تناوب.

استخدام المخاليط مع اتخاذ الحيطة والحذر

ينبغي استخدام مخاليط مبيدات الحشرات مع الحذر الشديد. ولا يوصى باستخدامها إلا في أضيق الحدود وفي حالات معينة، لأن استخدام المخاليط بصورة غير سليمة يمكن أن يؤدي إلى تفاقم مشكلة المقاومة. وينبغي عدم استخدام المخاليط مطلقاً خاصة إذا كانت الآفة المستهدفة مقاومة بالفعل للطريقة التي تؤثر بها إحدى مكونات المخلوط. وإذا كانت هناك ضرورة ملحة لاستخدام المخلوط، فينبغي أن تكون معدلات استخدام المواد الفعالة في المخلوط وفقاً للمعدلات الموصى بها، كما ينبغي أيضاً أن تكون لها نفس فترات الأثر المتبقي الفعال، وذلك لمنع حدوث انتخاب لصفة المقاومة للمكون ذو الأثر المتبقي الفعال لفترات أطول.

استخدم المنشطات مع الحذر

ربما يعمل استخدام المنشطات، التي تعوق أو تؤخر فقد سمية المبيد الحشري (تأيض المبيد)، على تحسين تأثيره وإطالة مدة بقاءه فعالاً، إذا ما تم استخدام هذه المنشطات بمعدلات غير سامة سواء قبل أو في نفس وقت تطبيق المبيد الحشري، (على سبيل المثال استخدامه في مخلوط مع المبيد الحشري). وتقوم المنشطات بتنشيط النظم الإنزيمية الأيضية (التمثيلية) في الآفة والتي من شأنها أن تعمل على عزل أو هدم المبيد الحشري و/أو تعزيز نفاذ المبيد في جُليد الحشرة. ويحدث التنشيط بسبب ارتباط المنشط مع الإنزيمات الأيضية مما يسمح بوصول أكبر قدر من المبيد إلى موضع التأثير المستهدف في الآفة. وعلى ذلك، فإن المنشطات التي يرجع تأثيرها فقط إلى تنشيط الإنزيمات الأيضية فإنها لا تكون مؤثرة إذا حدث تغيير للموضع المستهدف.

استخدم منتجات غير متخصصة في طريقة تأثيرها

تعتبر منتجات وقاية النباتات، مثل الزيوت والصابون، التي ليس لها كيفية محددة لإحداث الفعل أدوات جيدة لإدارة السيطرة على المقاومة. وينبغي استخدامها في تناوب أو في مخاليط مع مبيدات الحشرات

التقليدية حيثما يكون ذلك ممكناً، شريطة أن تكون فعالة في مكافحة عشائر الآفة المستهدفة سواء كانت حساسة أو مقاومة.

استخدم مستحضرات مبيدات الحشرات بعناية

استخدم المبيدات الحشرية عندما تكون الفرصة سانحة لإجراء مكافحة على النحو الأمثل، أي عندما تبلغ الإصابة الحد الحرج الذي يتطلب إجراء عمليات المكافحة، ولكن لا تصل درجة الوباء. وينبغي التأكد من أن تغطية الهدف بقطيرات الرش تتم بصورة جيدة. ويجب عدم استخدام نفس المركبات التي لديها نفس كيفية إحداث الفعل (طريقة التأثير) لمكافحة آفة تنتج أجيال متعددة خلال موسم زراعة المحصول.

رصد الآفات صعبة المراس

ينبغي رصد إصابات الآفات التي تنطوي على مشاكل مُعقدة، وذلك للكشف عن بداية التغييرات في حساسية مجموع عشيرة الآفة. وفي كثير من الحالات، يتم عمل خط قاعدي لبيانات الحساسية الممثلة لعشائر الآفة الحقلية وذلك قبل استخدام المنتجات على نطاق واسع. والقيام بتكرار فحص حساسية هذه العشائر تجاه المبيد الحشري على فترات منتظمة يمكن أن يُسهم في كشف التغييرات المحتملة في حساسية العشيرة. كما يُوصى بإجراء عمليات رصد لتطور المقاومة على فترات منظمة وذلك لكشف التغييرات التي قد تحدث في حساسية الآفة قبلما تتفاقم مشاكل المكافحة وتصبح أمراً واقعاً وخطيراً (انظر أيضاً الفصل الرابع).

3-7 تكتيكات إدارة السيطرة على مقاومة فعل مبيدات القوارض (القواضم)

إن الخطوة الأولى التي ينبغي اتخاذها حيال إدارة ظاهرة المقاومة هي التأكد من أن حالات المقاومة المشتبه بها هي مقاومة حقيقية وليس مجرد ضعف في أداء عملية المكافحة مثل عدم كفاية الطعم (أقل من المعدل الموصى به) أو نزوح الآفة. وجدير بالذكر أن مقاومة فعل مبيدات القوارض تأتي من قابلية القوارض لأن تستمر في التغذية على الطعم لفترات طويلة، وليس بامتناعها عن التغذية على الطعم. ويتم التثبت من حقيقة المقاومة، على أفضل وجه، من خلال استخدام منهجية قياسية. ويُعد ذلك ضرورياً بسبب التباين في أنواع وسلالات القوارض، وأيضاً الاختلافات في الاستجابة بين الذكور والإناث، والاختلافات في المواد الفعالة في الطعم.

وكما هو الحال مع الممرضات النباتية والحشرات والحشائش، فإن إدارة السيطرة على المقاومة يجب أن تركز على الحفاظ على صفة الحساسية في القوارض، أو خفض من تكرار النمط البيولوجي للمقاومة إلى مستوى مقبول. وهذا يمكن أن يتحقق من خلال وضع الأفراد المقاومة في ظروف غير مواتية لحدوث الانتخاب. وللأسف فإن المجاميع الكيميائية لمبيدات القوارض محدودة للغاية، ومن ثم فإن تناوب استخدام هذه المجاميع المحدودة لا يكون لها نفس الأثر لمنع حدوث مقاومة القوارض كما هو الحال مع مبيدات آفات النباتات.

وكما هو الحال أيضاً مع الأنواع الأخرى من الآفات، فإن السيطرة على المقاومة في القوارض تتطلب تطبيق خطة تنطوي على تكتيكات جيدة لإدارة المقاومة. وتشتمل الاستراتيجية الأساسية على ما يلي:

- إدارة البيئات الطبيعية (العوائل)، مثال ذلك، حرمان القوارض من الطعام والمأوى والماء؛

- توفير حواجز بحيث تمنع القوارض من الوصول إلى المحاصيل المُعرضة للهجوم، وتجهيز مواضع للتخزين أو أبنية مخصصة لهذا الغرض؛
 - مكافحة عشائر الآفات القارضة من خلال الاستخدام السليم لتدابير المكافحة الطبيعية والكيميائية؛
- و عند استخدام المكافحة الكيميائية، ينبغي اتباع الإجراءات التالية حيث أنها تساعد في تجنب تطور المقاومة في عشائر القوارض.
- استخدام المواد المضادة لتخثر (تجلط) الدم، من خلال مستحضرات ذات جودة عالية، وعليها مُلصقات للبيانات موضحاً بها الاستخدام المقصود.
 - فحص كافة محطات طعوم القوارض على نحو منتظم، والقيام بتبديل محطة الطعم القديمة حسب الضرورة.
 - اتباع التوجيهات الموجودة على بطاقة بيانات المستحضر حتى يتم القضاء على الإصابات بالآفة.
 - إزالة جميع الطعوم بمجرد إنجاز عملية المكافحة.
 - لا تستخدم مضادات التجلط حصرياً؛ حيث ينبغي فقط استخدام محطات الطعوم الدائمة أينما يزداد نزوح الآفة.
 - رصد نشاط القوارض بانتظام مع الاحتفاظ بسجلات مُفصلة ودقيقة للمعاملات.
 - أينما يستمر تواجد مشاكل القوارض، استخدم تدابير متنوعة للمكافحة، وطعوم بديلة، مع إطالة برنامج المكافحة.
 - تأكد أن الإصابات بالآفة قد انتهت تماماً.

4- اكتشاف المقاومة لفعل المبيدات والتحقق منها

1-4 أهداف كشف ورصد المقاومة

عندما يتضح أن المبيد لم يُعد يؤثر كما هو متوقع، فإن الخطوة الأولى التي يجب القيام بها هي تحديد المشكلة. فهناك أسباب كثيرة وراء مشاكل أداء المنتج غير المقاومة. وتتضمن هذه الأسباب التغطية الرديئة للهدف بمحلول الرش، معدلات استخدام المبيد غير صحيحة، عدم التعرف على الآفة، الظروف البيئية معاكسة، توقيت تطبيق المبيد غير مناسب... وهكذا. هذا فضلاً عن أن الفشل الحقلّي المعتاد للمركب يُعزى أيضاً ببساطة إلى حدوث المقاومة، وينبغي البحث في مثل هذه العوامل إلى جانب البحث في إمكانية حدوث تطور المقاومة.

ويقصد بكشف المقاومة التعرف على التغيرات الهامة التي تحدث في حساسية مجموع عشيرة الآفة تجاه المبيد. ويمكن استكشاف المقاومة من خلال قيام الباحثين أو المزارعين بعمل ملاحظات وجمع البيانات في هذا الشأن، أو من خلال تصميم نظام رصد مُخصص لهذه الظاهرة. وينطوي هذا النظام على محاولات لقياس التغيرات في تواتر أو درجة المقاومة من حيث الزمان والمكان. ويُستخدم هذا النظام أيضاً في تقييم فعالية التكتيكات المختلفة التي تطبق لمنع أو تأخير أو السيطرة على تطور المقاومة. وتُعد عمليتي الرصد والاستكشاف هما الأكثر فائدة إذا تمت في وقت مبكر خلال مرحلة تطور المقاومة.

ومن حيث المبدأ، فإن عملية رصد المقاومة ينبغي أن تتم عندما يكون هناك اشتباه أو احتمال لحدوث تطور في المقاومة. فعلى سبيل المثال، ينبغي إعداد برامج لرصد مقاومة الآفات للمبيدات حيثما يكون قد سبق وأن تم الكشف عن حدوث المقاومة. وفيما يتعلق بالآفات التي لديها مخاطر عالية لحدوث تطور في

مقاومتها تجاه المبيدات، فإنه ينبغي وضع برنامج رصد المقاومة قبل أن يتم اكتشافها، باعتباره جزءاً لا يتجزأ من خطة إدارة السيطرة على المقاومة لفعل المبيدات. وفي كثير من البلدان يتم رصد واستكشاف المقاومة من قبل المؤسسات البحثية الوطنية أو الإقليمية، كما قد تشارك أيضاً الجهات المصنعة للمبيدات في مثل هذا البرنامج. ويعرض جدول (10) مخطط لبرنامج أساسي لرصد المقاومة، كما يوضح كيف يتم إدراجه ضمن خطة إدارة السيطرة على المقاومة لفعل المبيدات.

جدول – 10 مراحل رصد وإدارة السيطرة على مقاومة فعل أحد المبيدات الجديدة للآفات

التوقيت	أنشطة رصد وكشف المقاومة	أنشطة أخرى لإدارة السيطرة على المقاومة	الغائم بالتنفيذ
1-2 سنة قبل بداية بيع المنتج	وضع طرق لجمع العينات واجراء الاختبارات	تقييم المخاطر	مُصنعي المبيدات
	استكشاف بيانات الحساسية الأولى	تحديد استراتيجية التطبيق؛ وضع خطة إدارة المقاومة	
خلال سنوات الاستخدام	رصد المقاومة عشوائياً في المناطق المُعاملة، إذا كان مُبرراً بواسطة تقييم مخاطر محصول/أفة ذات أهمية خاصة	تنفيذ خطة إدارة المقاومة؛ مراقبة الأداء الفعلي للمبيد بعناية	المؤسسات البحثية، الإدارات الإرشادية/الخدمات الاستشارية كبار مستخدمي المبيدات، مُصنعي المبيدات
بمجرد اكتشاف علامات المقاومة	الرصد لتحديد مدى المقاومة وأهميتها من الناحية العملية دراسة المقاومة المشتركة، لياقة الكائنات المتنوعة المقاومة، تقييم العوامل الأخرى المؤثرة على تطور المقاومة	إذا تأكدت مشكلة المقاومة، يتم مراجعة وتعديل خطة إدارة المقاومة	المؤسسات البحثية، مُصنعي المبيدات
فيما بعد	رصد معدل انتشار أو انحسار المقاومة	مراقبة أداء المبيد؛ مراجعة خطة إدارة المقاومة	المؤسسات البحثية، مُصنعي المبيدات

[المصدر: مُعدلة من مجلس البحوث الوطني (NRC) (1986)]

تتباين عملية تطور المقاومة للغاية فيما بين محيط تواجد الكائن الحي، وليست على وتيرة واحدة حيث يوجد كثير من العوامل التي تؤثر على الكائن الحي، وعلى العائل وأيضاً على برنامج تطبيق مبيد الآفات. وعلى ذلك، إذا حدث وأن ظهرت المقاومة في أحد المناطق، وحتى لو تم التحقق منها، فإن ذلك لا يبرر بالضرورة استبعاد المبيد بشكل عام من كافة المناطق. وكذلك فإن اكتشاف وجود أفراد مقاومة في عشيرة آفة ما، فهذا لا يعني بالضرورة أن مجموع عشيرة الآفة جميعها مقاومة ومن الصعب السيطرة عليها. ومع ذلك، فإن هذه الدلالات قد تكون بمثابة إنذاراً مبكراً بتطور المقاومة، ومن ثم يجب تعديل خطة إدارة السيطرة على المقاومة بحيث يمكن منع زيادة تكرار جين المقاومة في عشيرة الآفة والتي قد تؤدي في نهاية المطاف إلى حدوث مشاكل المقاومة.

4-2 طرق التحقق من المقاومة

بغض النظر عن مبيد الآفات موضع الاهتمام سواء كان مبيد فطريات أو مبيد حشائش أو مبيد حشري، فهناك أساليب متعددة ومتطلبات ضرورية يمكن اتباعها لكي يمكن التأكد من تطور المقاومة في كائن حي مُعين. وتتضمن تلك الأساليب والمتطلبات ما يلي:

اختبار الجرعة التمييزية

يُعد اختبار الجرعة التمييزية أو التشخيصية هو الأكثر استخداماً على نطاق واسع في عمليات رصد المقاومة في الحقل، وعلى الأخص المقاومة تجاه مبيدات الحشرات. ويعتبر هذا الاختبار سهلاً وذات كفاءة نسبية في استخدام الموارد. والهدف من إجراء اختبار الجرعة التمييزية هو تحديد ما إذا حدث تغيير في وضع حساسية عشيرة الآفة. ومع ذلك، فإنه بوجه عام من غير الممكن كشف الأفراد المقاومة في مجموع العشيرة حتى يصبح تكرار جين المقاومة أكبر من واحد بالمائة.

وهناك ثلاثة اعتبارات هامة ينبغي أخذها في الحسبان عند تصميم برنامج فردي لرصد تطور المقاومة بتطبيق اختبار الجرعة التمييزية هي:

- 1- تحديد "الجرعة التمييزية" لفصل الأفراد الحساسة عن غيرها من الأفراد المقاومة؛
- 2- تحديد حجم العينة التي يتم أخذها من كل موقع؛
- 3- تحديد درجة الاستجابة المناسبة للأفراد التي تنجو من تأثير الجرعة التمييزية وتبقى على قيد الحياة.

ويمكن الحصول على البيانات اللازمة من نتائج التقييم الحيوي للأفراد التي نجت وظلت على قيد الحياة في المنطقة التي عوملت بالمبيدات، وبافتراض أنها لم تُعامل مباشرة بمركب آخر.

وينبغي أن يتم إعداد اختبارات التقييم الحيوي قبل أو بعد فترة وجيزة من استخدام أحد المركبات الجديدة على المستوى التجاري ضد الآفة (أو الآفات) المستهدفة، أو زراعة محصول جديد محور وراثياً/جينياً. وعادة ما يتم عمل ذلك عن طريق الجهات المُصنعة للمبيدات بالتعاون مع المؤسسات البحثية الوطنية أو الإقليمية. وتستخدم الاختبارات لعمل خط قاعدي يمكن استخدامه في تعيين التفاوت الطبيعي في حساسية أفراد عشيرة الآفة، والتحقق من أوضاع المقاومة في المستقبل. ويجب أن تكون الاختبارات فاعلة، سريعة، ومن السهل نسبياً إجراؤها. كما يجب أن تكون خطوات العمل المتبعة دقيقة، وتؤدي إلى الحصول على نتائج صحيحة مُمثلة للواقع وبالقدر الكاف، علاوة على إمكانية استنساخها واستيعابها بسهولة ويسر.

ويمكن الحصول على طرق الاختبار المعيارية التي يمكن استخدامها في تقدير حساسية عشيرة الآفة، من الروابط المذكورة في الملحق الأول. كما تُتاح مجموعة مُجهزة لمستلزمات التقييم الحيوي لرصد المقاومة للآفات المُهمّة (مثل بعوضة الملاريا).

اختبار الاستجابة للجرعة

إن أكثر الطرق دقة لتقييم حساسية عشيرة آفة ما لأحد المركبات هو إجراء التقييم الحيوي التقليدي لاختبار منحنى الاستجابة للجرعة. وللحصول على نتائج هذا الاختبار يتم في البداية تجهيز عينات من أفراد أو مجموع العشيرة المراد اختبار حساسيتها، ثم اختبار سلسلة من جرعات المبيد تتراوح سميتها لتقتل من 5 إلى 95% من الأفراد المُعرضة لها في حالة مبيدات الحشرات، ومن صفر إلى 100 % موت بالنسبة لمبيدات الحشائش. وفي العادة يحتاج الأمر في حالة مبيدات الحشائش أن يتم فقط اختبار مجموعة من العشب موضع الاختبار ومجموعة من العشب المعروف بأنه حساس، حيث يمكن استخدام البيانات المتحصل عليها في تحديد نطاق الحساسية في مجموع العشيرة قبل القيام بالتطبيق على نطاق

واسع. كما أن هذه المعلومات يمكن الاستفادة بها أيضا فيما بعد عند الحصول على نتائج من عمليات المكافحة أقل من المتوقعة.

الاختبارات الكيميائية الحيوية والمناعية

أصبحت الاختبارات البيوكيميائية لتحديد انزيمات إزالة السمية (تأبيض المبيد) الفريدة من نوعها والمرتبطة بالآفات المقاومة تُستخدم على نحو متزايد في استكشاف كلا من الأفراد المقاومة وحساسية عشيرة الآفة. كما تطورت أيضا الاختبارات المناعية لاستكشاف المقاومة التي تعتمد على تحديد انزيمات إزالة السمية (تأبيض المبيد) باستخدام الأجسام المضادة وحيدة النسيلة (المثيل الوراثي).

البيانات الأساسية

يحتاج الأمر إلى جمع بيانات أساسية (بيانات خط الأساس) بشأن حساسية الآفات للمبيدات. ومن الناحية النموذجية ينبغي أن يتم ذلك قبل إدخال المنتج إلى المنطقة التي سيتم فيها المعاملات. وبغض النظر عن الطريقة المستخدمة في التحقق والتأكد من المقاومة، فإن نتائج الاختبارات المُتَحصل عليها يجب دائما أن تُقارن مع بيانات الخط الأساسي.

وبالنسبة للمبيدات الحشرية، فإنه عادة ما تستخدم السلالات المعملية في إعداد قيم خط الأساس لحساسية الآفة، ولهذه القيم بعض الفوائد حيث أنها توفر معلومات عن أعلى درجة للحساسية يمكن ملاحظتها. ومع ذلك، فإن كثير من هذه السلالات المعملية هي في الواقع أكثر حساسية من تلك السلالات الحقلية، حيث أن ظروف التربية في المختبر تعمل على إضعافها وبالتالي زيادة حساسيتها. وإذا كان مدى قيم خط الأساس كبيرا، فإن ذلك يشير إلى وجود تنوع وراثي كبير داخل مجموع عشيرة الكائن الحي المستهدف، وأن تطور المقاومة قد يكون على نحو أسرع منه إذا ما كان مدى قيم خط الأساس صغيرا تماما.

أما فيما يتعلق بمبيدات الفطريات، فإنه من المعتاد استخدام عزلات حقلية غير معاملة ولم تتعرض للمبيد للحصول على قيم خط الأساس للحساسية. وفي حالة استخدام مجموع العشائر الحقلية، فينبغي أخذ العينات من منطقة جغرافية واسعة قدر الإمكان كي تكون مُمثلة بصورة حقيقية للتباين العام في حساسية العشيرة الطبيعية. وعلى الأرجح أن يكون خط الأساس مكون من مجموعة من القيم فضلا عن أن يكون قيمة واحدة مُطلقة حتى يمكن مقارنة النتائج المُتَحصل عليها بعد إدخال المبيد. وعادة لا تكون خطوط الأساس لحساسية السلالة لمبيد الفطريات موزعة بالتساوي بل تكون منحرفة بوضوح لتشمل نسبة قليلة من الأفراد التي تقتلها جرعات أعلى بكثير من متوسط قيم التركيز النصفية المؤثر (EC_{50}). وتعتبر مثل هذه الأفراد هي مكونات طبيعية ضمن نطاق الحساسية ولا تُصنف على أنها مقاومة؛ وفي الغالب يتم مكافحتها باستخدام التطبيقات العادية لمبيد الفطريات. وهناك المزيد من الإرشادات بشأن إنشاء خطوط الأساس للمبيدات الفطرية مذكورة في مواضع أخرى.

وفيما يتعلق بمبيدات الحشائش، فإن الأمر يقتضي أن يتم مقارنة مجموع الحشائش المقاومة بتلك التي يُشتبه في أنها مقاومة.

العلاقة بين نتائج التقييم الحيوي والأداء الحقلية

ينبغي، بأسرع ما يمكن، تحديد الارتباط بين نتائج التقييم الحيوي والأداء الحقلية للمركب. ويتطلب ذلك عمل تقدير لانحدار حساسية الآفة وعلاقته بالأداء الحقلية. ففي بعض المركبات يحدث تغيير طفيف في

حساسية الآفة، وفقاً لنتائج التقييم الحيوي، إلا أن هذا التغيير يكون له تأثير جوهري على أداء المركب في الحقل. وفي مركبات أخرى قد يتطلب الأمر حدوث اختلافات كبيرة في حساسية الآفة قبل ملاحظة أي تأثيرات قد تطرأ على أداء المنتج في الحقل.

3-4 إجراءات الاختبار

توجد إجراءات فعالة لاختبارات تقييم وتأكيد المقاومة لفعل المبيدات من قبل مجموعة كبيرة متنوعة من الآفات والحشائش والحشرات. ويمكن الحصول على عدد من هذه الاختبارات من مواقع الانترنت المتعددة الخاصة بلجان مجابهة المقاومة للمبيدات، كلجنة مجابهة المقاومة للمبيدات الفطرية (FRAC) واللجنة المعنية بمجابهة المقاومة لمبيدات الحشائش (HRAC)، واللجنة المعنية بمجابهة المقاومة للمبيدات الحشرية (IRAC)، وأيضا مواقع منظمة الصحة العالمية (WHO). وجميعها مذكورة في الملحق الأول.

5- المقاومة والمحاصيل المحورة وراثياً/چينيا

1-5 مقدمة

المحاصيل المحورة وراثياً/چينياً هي نباتات تحورت بواسطة إدخال واحد أو أكثر من الجينات الوراثية. وتتسم هذه المحاصيل بمميزات عديدة تتعلق بإدارة السيطرة على ظاهرة المقاومة. وأحد هذه المميزات الهامة أن الانخفاض في تركيز التوكسين (السم) في النباتات المحورة وراثياً يبلغ حده الأدنى مع مرور الوقت، وأن معدلاته التي يمكن أن تسبب حدوث ضغط انتخابي توجد مرة واحدة فقط قرب نهاية الموسم. وعلى النقيض من ذلك، فإنه في حالة مبيدات الآفات التقليدية ربما تتفاوت جرعة المبيد المستخدمة على النباتات وعلى مدار الوقت، وذلك بسبب مشاكل عدم انتظام التغطية بالمبيد وانهيار المادة الفعالة به، الأمر الذي من شأنه أن يجعل تكرار المعاملات ضرورياً، مما يؤدي في أغلب الأحوال إلى حدوث ضغط انتخابي. واحتمال حدوث انتخاب للمقاومة مع النباتات المحورة وراثياً يعتبر أقل بكثير مقارنة بغيرها من النباتات العادية، غير أنه لا يمكن القول بأنه تم القضاء عليه تماماً.

وعلى الرغم من أن التقارير أشارت إلى ظهور بعض حالات المقاومة لفعل توكسينات بكتيريا الباسيلس *Bt* في الحقل، إلا أنه لم يُلاحظ حتى الآن سوى حالات قليلة من الفشل في عمليات مكافحة بسبب المقاومة، نتيجة زراعة المحاصيل المحورة وراثياً. ويقتضي الأمر بالالتزام الصارم بخطط إدارة السيطرة على مقاومة فعل المبيدات (RMPs) وذلك لمنع حدوثها في المستقبل. وقد تكون مقاومة الحشرات لفعل توكسينات بكتيريا الباسيلس *Bt* لها تأثيرات خطيرة على إنتاج المحصول. وتُعد مقاومة الحشائش لمركب جليفوسات التي تُلاحظ في المحاصيل ذات القدرة على تحمل هذه المبيدات في الأساس حالة طبيعية لمقاومة مبيدات الحشائش (أي أنها يمكن أن تحدث أيضاً للنباتات المحورة وراثياً)، ومن ثم فإن عدد أنواع الحشائش المقاومة يتزايد على مستوى العالم. كما أن انتشار تطور المقاومة لمركب جليفوسات يمكن أن يُشكل تهديداً خطيراً للمحاصيل المحورة وراثياً مع القدرة على تحمل الجليفوسات.

5-2 تاريخ تطور المقاومة في المحاصيل المحورة وراثياً بچين بكتيريا الباسيلس (*Bt*)

عندما ظهرت أول النباتات المحورة وراثياً بكتيريا باسيلس ثورنچينسيس (*Bt*) التي تفرز بللورات سامة (توكسين) قاتلة للحشرات، في منتصف التسعينيات (1990s) كان هناك قلق كبير حول إمكانية ظهور المقاومة تجاه توكسينات هذه البكتيريا. وفي الحقيقة، كانت التوقعات تشير إلى احتمال ظهور المقاومة في أقل من 3 إلى 5 سنوات. وقد استندت هذه التوقعات على بعض الملاحظات كما يلي:

● بعدما أظهرت الفراشة ذات الظهر الماسي *Plutella xylostella* مقاومة لمستحضرات الرش بالباسبيلس (*Bt*)، وأيضاً تجاه بللورات البرويين السامة (التي تفرزها هذه البكتيريا)، منفردة بدون المبيد؛

● قد تتواجد جرعة عالية من البللورات السامة للبكتيريا على نحو منتظم في النباتات لوقت طويل مما يعمل على إحداث ضغط انتخابي عالي جداً على مدار أجيال متعددة؛

● يتواجد التوكسين (*Bt*) في جميع أجزاء النباتات وعلى مدار الموسم، بالإضافة إلى ذلك، فإن المحاصيل المحورة وراثياً عادة ما يتم زراعتها على نطاق واسع مما يقلل إلى حد كبير من فرص حدوث تخفيف جينات المقاومة والتي قد يتم انتخابها؛

● قد يتواجد التوكسين (*Bt*) في النباتات من بداية وقت الإنبات فصاعداً وبالتالي يوفر حالة هي أقرب للوقاية منها إلى العلاج. وفي أحوال كثيرة يرتفع مستوى تعداد مجموع عشائر الآفة ولكنه لا يرقى للحد الحرج للعلاج، ويُعتقد أن هذا الأمر قد يتسبب في إحداث عمليات غير مرغوبة من تطور المقاومة؛

● إن المادة الفعالة الوحيدة الموجودة بصفة أساسية هي توكسين بكتيريا الباسبيلس (*Bt*)، في حين انه يوجد عدد من آليات المقاومة المحتملة والتي يمكن أن يتم تفعيل أي منها مما يؤدي في النهاية إلى تكوين عشيرة من الآفة الحشرية مقاومة لفعل توكسينات هذه البكتيريا (*Bt*).

أوضحت الخبرة العملية الحقلية مع نبات القطن المحور وراثياً بجين بكتيريا الباسبيلس (*Bt*) على مدى العقد الماضي أن مخاطر تطور المقاومة كانت أقل بكثير مما كان متوقعاً في الأصل. وأن معدلات تكرار جينات المقاومة لفعل توكسينات بكتيريا الباسبيلس (*Bt*) كان منخفضاً، ولم تُشر التقارير حتى الآن إلا إلى مشاكل حقلية محدودة فقط بشأن تطور المقاومة. ويرجع ذلك إلى أحد الأسباب الهامة هو التشدد في طلب تقديم خطة فعالة لإدارة السيطرة على المقاومة عند تسجيل المنتج. كما أن هناك عوامل أخرى ساعدت أيضاً في منع تطور المقاومة مثل تكامل العمليات الزراعية، طرق مكافحة الحيوية، المبيدات التقليدية التي تُستخدم على المجموع الخضري للنبات، وتكتيكات أخرى للإدارة المتكاملة للآفات بشأن النباتات المحورة وراثياً بجين بكتيريا الباسبيلس (*Bt*). وبالإضافة إلى ذلك، هناك عوامل أخرى من المؤكد أنها تساهم في الحد من تطور المقاومة كما يتضح فيما يلي:

● توجد مناطق قليلة نوعاً ما تكون فيها زراعة المحاصيل المحورة وراثياً بجين بكتيريا الباسبيلس (*Bt*) سائدة على إجمالي المساحة المنزرعة، باستثناء بعض المناطق التي يتم فيها زراعة الذرة والقطن بشكل كثيف حيث يوجد بها مساحات واسعة مُخصصة لزراعة المحاصيل المحورة وراثياً بكتيريا الباسبيلس (*Bt*)؛

● وفي هذه المناطق، فإن العديد من الآفات الرئيسية يكون لديها مجموعة كبيرة من العوائل ومجالات واسعة المدى للتشتت، وبالتالي فإن جزء فقط من مجموع العشيرة هو الذي يتم تعرضه لتوكسينات بكتيريا الباسبيلس (*Bt*) وانتخابه لمقاومة فعلها. بالإضافة إلى ذلك، فإن خطط إدارة السيطرة على المقاومة تتطلب زراعة المحاصيل المحورة وراثياً بجين بكتيريا الباسبيلس (*Bt*) ذات بللورات البروتين الأحادية، لتوفر ملجأ أو ملاذ منظم يتكون من المحاصيل الغير محورة وراثياً بكتيريا الباسبيلس (*Bt*) مزروعة بمنطقة مجاورة للمحاصيل المحورة وراثياً (*Bt*). وتعتبر هذه الأصناف والمحاصيل الغير محورة وراثياً مأوى جيد للحشرات، مما يضمن بقاء معيشة أعداد

كبيرة من الأفراد الحساسة ضمن مجموع عشائر الأنواع المستهدفة من الآفات، وهذه الحشرات يمكنها التزاوج مع الحشرات المقاومة لفعل توكسينات البكتيريا (*Bt*)، وبالتالي نقل ظاهرة المقاومة للأجيال المتتالية؛

- تميل الجينات الحاملة لصفة المقاومة لتوكسينات بكتيريا الباسيلس (*Bt*) لأن تكون متنحية وظيفياً وبصاحب لياقاتها تكلفة عالية من أنشطة الحشرة المختلفة. فمن الصعب حتى الآن أن تجد أعداد كبيرة من اليرقات المقاومة التي تستطيع أن تكمل تطورها وتتكاثر على النباتات المحورة وراثياً بجينات بكتيريا باسيلس (*Bt*). وفي الحالات التي تربت فيها عشائر الآفة المأخوذة من عينات حقلية، لوحظ أن المستعمرة لم تستمر في المعيشة أكثر من عدة أجيال قليلة؛
- وجود التوكسين بمعدل مرتفع في النباتات المحورة وراثياً بجينات بكتيريا باسيلس (*Bt*)، والذي عادة ما يكون عالياً بما يكفي لمكافحة معظم أفراد الآفة الحشرية متغايرة الزيغوت (متغايرة الألائل) لصفة المقاومة (*RS*) في مجموع عشيرة الآفة المستهدفة، كما يستمر تواجده في النباتات لأطول فترة خلال الموسم. ويعمل ذلك على أن يجعل عملية انتخاب صفة المقاومة أكثر صعوبة إذا ما قورنت بعمليات الانتخاب المتكررة نتيجة تكرار المعاملات بمبيدات الآفات التقليدية (التي تنخفض فيها متبقيات المبيد لتصبح دون المستوى اللازم قبل إعادة تكرار المعاملة). وعلاوة على ذلك، يوجد عدد من البروتينات السامة المختلفة لبكتيريا الباسيلس (*Bt*)، بمواقع تأثير منفردة (أي مستقبلات القناة الهضمية الوسطى في الحشرة) والتي تتميز بتأثير واسع المدى.

وتساعد هذه العوامل المذكورة أعلاه في تفسير لماذا كان من الصعب لأنواع متعددة من الآفات أن تنتخب عشائر شديدة المقاومة لتوكسينات جين بكتيريا باسيلس (*Bt*) في المحاصيل المحورة وراثياً. وحتى عام 2012، كان قد تم فقط توثيق المقاومة الحقلية (بما فيها فشل المحصول) لبعض الآفات الحشرية على المحاصيل المحورة وراثياً بجين بكتيريا باسيلس (*Bt*)، وهي دودة الحشد الفتاكة *Spodoptera frugiperda* في بورتوريكو، وثاقبات الساق الأفريقية *Busseola fusca* في جنوب أفريقيا، ودودة اللوز القرنفلية *Pectinophora gossypiella* في الهند، ومؤخراً في دودة جذور الذرة الغربية *Diabrotica virgifera virgifera* في الولايات المتحدة الأمريكية. وهناك دلالات تشير إلى أن هذه الحالات كانت على الأقل بصورة جزئية وحدثت نتيجة عدم اتباع التوصيات العامة لخطط إدارة السيطرة على المقاومة بدقة بشأن التآلفات التي تضم الآفة والمحصول.

من الواضح أن استمرار استخدام المحاصيل المحورة وراثياً بجين بكتيريا باسيلس (*Bt*) سوف يعتمد على تطوير وتطبيق خطط فعالة لإدارة السيطرة على المقاومة. ومن المهم أن نتذكر أن مخاطر المقاومة ليست متماثلة لكل المنتجات ولجميع أساليب استخدامها. كما أنه من غير المقبول أن نفترض بأن الخبرات المكتسبة من إدخال جينات بكتيريا باسيلس (*Bt*) في النباتات الجديدة المحورة وراثياً لمقاومة الآفات ستكون بالضرورة متشابهة.

3-5 التكتيكات الخاصة بمنع تطور المقاومة لفعل توكسينات بكتيريا الباسيلس (*Bt*)

تُعد التكتيكات المستخدمة للسيطرة على مقاومة الآفات لفعل السموم (التوكسينات) التي تنتجها النباتات المحورة وراثياً بجين بكتيريا باسيلس (*Bt*) هي نفس التكتيكات المستخدمة للسيطرة على المقاومة لفعل مبيدات الآفات التقليدية بوجه عام، ولكن مع إضافة بعض التكتيكات للحفاظ على جينات الحساسية في

مجموع عشيرة الآفة الحشرية. وتشمل التكتيكات الرئيسية المستخدمة في إدارة السيطرة على مقاومة الحشرات لتوكسينات هذه النباتات المحورة وراثياً ما يلي:

- **عمليات إدارة المحاصيل:** بالنسبة لمبيدات الآفات التقليدية، تُعد الممارسات الجيدة في إدارة المحصول مع الإدارة المتكاملة للآفات هي الأساس في إدارة السيطرة على المقاومة. وبالإضافة إلى ذلك فإن عدم تجاوز عدد المعاملات الإبادية اللازمة إلى جانب الإدارة الصحيحة للمحصول يساعد على بقاء عشائر المفترسات والمتطفلات النافعة. ويتميز وجود هذه الأنواع المفيدة بأنها يمكن أن تقضي على أفراد الآفة التي قد تبقى حية على المحصول المحور وراثياً.
- **نطاق الآفة المستهدفة والجرعة:** بعض أنواع الآفات الحشرية تكون أكثر حساسية من غيرها من الأنواع الأخرى للبلورات البروتينات السامة لـ *Bt* بكتيريا الباسيلس (*Bt*)، كما أن هذه البروتينات قد لا يتم إنتاجها بالتساوي في المواضع المختلفة بالنبات. وطالما أن إنتاج بروتينات *Bt* يتم إنتاجها في أنسجة النبات الحساسة بجرعة تكفي لقتل جميع الأفراد الحساسة في عشيرة الآفة المستهدفة فمن المرجح أن تتم عملية انتخاب صفة المقاومة ببطء شديد. وعلى النقيض، إذا كان مستوى السم (التوكسين) منخفض إلى الدرجة التي تسمح لبعض الأفراد أن تنجو وتبقى على قيد الحياة بما فيها الأفراد متغايرة الزيغوت (متغايرة الألائل) فإن صفة المقاومة سوف تتطور على نحو أسرع.
- **ملاحي أو ملاذات للآفات الحشرية الحساسة:** إن توفير و/أو الحفاظ على ملاذات من المحاصيل العادية غير المحورة وراثياً تُعد مطلباً أساسياً في معظم خطط إدارة السيطرة على مقاومة الآفات لفعل التوكسينات التي تنتجها المحاصيل المحورة وراثياً بـ *Bt* بكتيريا الباسيلس (*Bt*). وعمل ملاذ بجانب أو داخل المساحات المزروعة بالمحاصيل المحورة وراثياً بـ *Bt* بكتيريا الباسيلس (*Bt*) يساعد في معيشة وبقاء أعداد من الآفة الحساسة تكفي لأن تحافظ على الجينات التي تحمل صفة الحساسية في عشيرة الآفة ككل. كما أن شدة الحركة للحشرات الكاملة واليرقات تحتم وجود هذه الملاذات التي تحتوي على محاصيل تقليدية (غير محورة وراثياً). فعلى سبيل المثال، حيث أن يرقات ثاقبات الذرة الأوروبية (*Ostrinia nubilalis*) تتحرك بسهولة على طول وليس بين الصفوف المزروعة بالذرة، فإن أفضل حل هو وجود ملاذ داخل الحقل (أي ثمانية صفوف مزروعة بالذرة المحورة وراثياً بـ *Bt* بكتيريا الباسيلس (*Bt*) يعقبها صفين من الذرة العادية الغير محورة وراثياً). أما بالنسبة لنبات القطن فإن الآفة المستهدفة تتحرك على طول وبين الصفوف فيفضل في هذه الحالة أن يكون الملاذ المزروع بنباتات عادية على شكل كتلة (بلوك) وليس في صفوف. أما فيما يتعلق بالملاذات الخارجية فيجب أن تكون قريبة بما فيه الكفاية من المحاصيل المحورة وراثياً بـ *Bt* بكتيريا الباسيلس (*Bt*) مما يسمح بأن يتم التزاوج بطريقة عشوائية بين أفراد الحشرات الكاملة من الملاذ ومن حقول المحاصيل المحورة وراثياً. وفي نبات القطن، نظراً لأن الآفات المستهدفة (على الأخص حشرات حرشفية الأجنحة) سريعة الحركة والهجرة من المحاصيل الأخرى غير المحورة وراثياً، فإنها تعمل على وفود أعداد ضخمة من أفراد الحشرات الحساسة.
- **اختيار المحاصيل المحورة وراثياً بـ *Bt* بكتيريا الباسيلس (*Bt*):** ينبغي إيلاء الاهتمام بصفة خاصة إلى نوع البروتينات التي تنتجها المحاصيل المختلفة المحورة وراثياً بـ *Bt* بكتيريا

الباسيلس (*Bt*)، نظراً لاحتمال انتخاب الأفراد المقاومة في عشائر الحشرات المهاجرة لفعل نفس بروتينات *Bt* السامة أو بروتينات مماثلة توجد في محاصيل مختلفة في مناطق زراعية أخرى. لهذا السبب قامت بعض البلدان باتخاذ خطوات نحو قصر أو تشفير بروتين *Bt* محدد على محصول معين. وثمة نهج آخر في هذا الخصوص هو استخدام المحاصيل التي بها اثنين أو أكثر من بروتينات *Bt* بمواقع ربط مفردة ويتم إدخالها في نفس النبات، ويُعرف هذا النهج "بالتهريم Pyramiding" وعلى ذلك، سيكون من غير المحتمل تماماً أن تستطيع الحشرة تطوير المقاومة لنوعين من السموم المختلفة في آن واحد. ونظراً لانخفاض مخاطر المقاومة، ولأن الآفات المستهدفة متحركة جداً وتهاجر بسهولة من حقول المحاصيل العادية (الغير محورة وراثياً) فقد أوصت وكالة حماية البيئة الأمريكية (EPA) بعمل ملاذات طبيعية لأجل محاصيل القطن المحورة وراثياً بجين بكتيريا الباسيلس (*Bt*) التي تنتج نوعين من بلورات البروتين بدلا من الملاذ المنظم اللازم لنبات القطن المحور وراثياً وينتج نوع واحد من بروتينات بكتيريا الباسيلس (*Bt*).

ويوضح جدول (11) نقاط القوة والضعف للتكتيكات المتعددة المستخدمة في إدارة السيطرة على المقاومة في المحاصيل المحورة وراثياً بجين بكتيريا الباسيلس (*Bt*).

جدول - 11 نقاط القوة والضعف لتكتيكات إدارة السيطرة على المقاومة لتطبيقها على الحشرات المقاومة لتوكسينات المحاصيل المحورة وراثياً.

التكتيك	نقاط القوة والضعف
جرعة عالية لمكافحة الأفراد متغايرة الريبوت (متغايرة الألائل) لصفة المقاومة	استخدام جرعة عالية موحدة ضد الآفات المستهدفة الرئيسية، عندما يكون ذلك ممكناً.
ملاذ منظم للحشرات الحساسة	يتم تنفيذه بنجاح في بلدان عديدة، إلا أن تعميمه في الغالب يكون معقداً ومكلفاً.
ملاذ طبيعي/غير منظم (=عوائل بديلة)	يكون هاماً فقط في حالة ما تكون الآفات الرئيسية المستهدفة عامة.
تناوب استخدام المواد الفعالة	غير ممكنة التطبيق في نفس الموسم، كما أنها معقدة ومكلفة في تنفيذها وفي التحقق من فعاليتها على مدار الموسم.
المواد الفعالة في شكل هرمي	استراتيجية ناجحة طالما يتوافر نوعان من التوكسينات فريدان في مواضع تأثيرهما ولهما فعالية ضد نفس نوع الآفة. وربما أيضا تعمل هذه الاستراتيجية على توسعة نطاق نشاط الآفة وتشتيتها.
الحد من المساحة الإجمالية المزرعة بالمحاصيل المحورة وراثياً في منطقة معينة (مساحة محدودة)	حالات محدودة يتم تنفيذها بنجاح في الفلبين وإستراليا؛ وقد يكون من غير الممكن إدارتها في بعض النظم.
الإدارة المتكاملة للآفات	تطبيق الوسائل الصحيحة للإدارة المتكاملة للآفات (الزراعية، البيولوجية، الكيمائية) يمكن أن تحد من بقاء مجموع عشائر الآفة المقاومة بشكل كبير.
رصد التغير في حساسية الحشرات	إذا تم بشكل سليم، حينئذ يمكن قياس التغيرات الصغيرة في حساسية الحشرة قبل حدوث فشل في الحقل على نطاق واسع. غير أنه من الصعب جمع عشائر الحشرة وإجراء التقييم الحيوي. وإجراء الرصد لملاحظة حدوث تلف غير متوقع في الحقل أمر في غاية الأهمية.
تعليم أصحاب المصلحة ورفع قدراتهم على الاتصالات وتبادل المعلومات	ينبغي إحاطة المزارعين وغيرهم من أصحاب المصلحة علماً بكيفية اختيار المحاصيل المحورة وراثياً بجين <i>Bt</i> ، وأهمية تكتيكات إدارة السيطرة على مقاومة، وإذا دعت الحاجة إلى عمل ملاذ منظم فينبغي متابعة امتثال المزارعين في هذا الشأن.

[المصدر: (Ferré et al. (2008)]

6- مقاومة ناقلات الأمراض

في حين أن مقاومة المبيدات تمثل مشكلة كبيرة في مكافحة الآفات الزراعية، فإنها أيضا تمثل مشكلة هامة في مكافحة الحشرات ناقلة الأمراض للإنسان والحيوان. وتشمل الأمراض الهامة التي تشكل مخاطر من تطور المقاومة في الحشرات الناقلة لها، مرض الملاريا *Malaria*، حمى الدنج (أو الضنك) *Dengue fever* وداء الليشمانيا *Leishmaniasis* وداء شاغاس *Chagas* وغيرها من الأمراض. وتؤدي شدة هذه الأمراض مع الأعداد القليلة من المبيدات الحشرية المتاحة لمكافحة ناقلات هذه الأمراض إلى جعل تطور المقاومة مسألة في غاية الأهمية.

وقواعد منع وإدارة السيطرة على مقاومة الحشرات الناقلة للأمراض هي نفسها كما في الآفات الزراعية، باستثناء بعض الممارسات الخاصة التي قد تختلف. وهذا الموضوع لا يقع ضمن أهداف هذه الخطوط التوجيهية، ومن ثم ينبغي على القراء والمهتمين الرجوع إلى منظمة الصحة العالمية (WHO) وإلى اللجنة المعنية بمجابهة المقاومة للمبيدات الحشرية (IRAC) للحصول على المزيد من المعلومات بشأن مخاطر المقاومة في ناقلات الأمراض وطرق كشفها، وإدارة السيطرة عليها (انظر الملحق الأول).

ومع ذلك، فهناك مسألة مثيرة للقلق بصفة خاصة وهي تزايد الضغط الانتخابي لصفة المقاومة في ناقلات الأمراض للإنسان كنتيجة لاستعمال المبيدات الحشرية في الزراعة. ويحدث ذلك عند استخدام مبيدات حشرية لمكافحة ناقلات الأمراض تكون مُستخدمة بالفعل على نطاق واسع ضد الآفات الزراعية في نفس المنطقة. ويتطلب الأمر التعاون الوثيق بين قطاعات الشؤون الزراعية والصحية للسيطرة على مثل هذه المخاطر، كما يُوصى بإعداد خطط مشتركة لإدارة السيطرة على ظاهرة المقاومة.

الملحق الأول: موضوعات إضافية لمزيد من القراءة

لمزيد من القراءة نعرض بعض المراجع الإضافية ذات الصلة بالموضوعات التي تم تناولها في هذه الخطوط التوجيهية. ويلاحظ أن بعض المراجع المذكورة أدناه قد تغطي موضوعات متنوعة [توجد بين قوسين مربعين]

تقييم مخاطر المقاومة وعوامل تلك المخاطر

موضوعات عامة

OEPP/EPPO 2002. *Resistance risk analysis*. Standards for efficacy evaluation of plant protection products, PP 1/213(2). European and Mediterranean Plant Protection Organization, Paris. (At: <http://pp1.eppo.org/getnorme.php?n=213>)

مبيدات الفطريات

Brent, K.J. & Hollomon, D.W. 2007a. *Fungicide resistance: The assessment of risk*. FRAC Monograph 2 (revised). (At: <http://www.frac.info/frac/index.htm>)
[note: also “detection and verification”]

مبيدات الحشائش

HRAC. Undated. *Herbicide cross resistance and multiple resistance in plants*. Monograph. Herbicide Resistance Action Committee. (At: <http://hracglobal.com/Publications/HerbicideCrossResistanceandMultipleResistance.aspx>)

مبيدات الحشرات

Whalon, M.E., Mota-Sanchez, D & Hollingworth, R.M. (eds.) 2008. *Global pesticide resistance in arthropods*. CABI, Wallingford.)
[note: also “resistance prevention and management” and “transgenic crops”]

مبيدات القوارض

Buckle, A.P, Prescott, C. V. & Ward, K.J. 1994. Resistance to the first and second generation anticoagulant rodenticides – A new perspective. In: W.S. Halverson & A.C. Crabb, eds. *Proc. 16th Vertebrate Pest Conference*. pp. 137-144. Univ. of California, Davis. (At: <http://digitalcommons.unl.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=1006&context=vpc16>)

تصنيف طرق تأثير المبيدات (كيفية إحداث الفعل)

مبيدات الفطريات

FRAC. 2011 FRAC Code list:
(At: <http://www.frac.info/frac/publication/anhang/FRAC%20Code%20List%202011-final.pdf>)

مبيدات الحشائش

HRAC. undated. Classification of herbicides according to site of action.
(At: <http://www.hracglobal.com/Publications/ClassificationofHerbicideSiteofAction.aspx>)

مبيدات الحشرات

IRAC. 2011. IRAC MoA Classification Scheme (At: <http://www.irc-online.org/teams/mode-of-action/>)

قواعد بيانات مشاكل المقاومة المؤكدة والإبلاغ عنها

مبيدات الفطريات

FRAC. 2011. FRAC list of plant pathogenic organisms resistant to disease control agents. (At: http://www.frac.info/frac/publication/anhang/List%20of%20resistant%20plant%20pathogens_Jan%202011.pdf)

مبيدات الحشائش

ISHRW. Undated. International Survey of Herbicide Resistance Weeds. (At: <http://www.weedscience.org/in.asp>)

مبيدات الحشرات

MSU. Undated. Arthropod Pesticide Resistance Database. Michigan State University. (At: <http://www.pesticideresistance.org/>)

منع وإدارة السيطرة على المقاومة

موضوعات عامة

NRC. 1986. *Pesticide Resistance: Strategies and Tactics for Management*. Board on Agriculture, National Research Council. National Academies Press, Washington, DC (At: http://www.nap.edu/openbook.php?record_id=619&page=313)
[note: also “risk assessment and risk factors” and “detection and verification”]

مبيدات الفطريات

Brent, K.J. & Hollomon, D.W. 2007b. *Fungicide resistance in crop pathogens: How can it be managed?* FRAC Monograph No. 1 (revised edition). Fungicide Resistance Action Committee, Basel. (At: <http://www.frac.info/frac/index.htm>)

Damicone, J. 2007. *Fungicide resistance management*. Oklahoma Cooperative Extension Fact Sheet F-7663. Division of Agricultural Sciences and Natural Resources, Oklahoma State University. (At: <http://pods.dasnr.okstate.edu/docushare/dsweb/Get/Document-2317/EPP-7663web.pdf>)

[note: also “risk assessment and risk factors”]

مبيدات الحشائش

HRAC. 2011. *Guideline to the management of herbicide resistance*. Herbicide Resistance Action Committee (Available at: <http://www.hracglobal.com/Publications/ManagementofHerbicideResistance.aspx>)

Palou, A.T., Ranzenberger, A.C., & Larios C.Z. 2008. *Management of herbicide-resistant weed populations – 100 questions on resistance*. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome. (At: <ftp://ftp.fao.org/docrep/fao/011/a1422e/a1422e00.pdf>)

Valverde, B.E. 2003. *Herbicide resistance management in developing countries*. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome. (At: <http://www.fao.org/DOCREP/006/Y5031E/y5031e0h.htm>)

مبيدات القوارض

CropLife. 2003. Anticoagulant resistance management strategy for pest management professionals, central and local government and other competent users of rodenticides. Technical Monograph. CropLife International, Brussels (Available at: http://www.rrac.info/downloads/technical_monograph_2003_ARM.pdf)

مبيدات الحشرات

Onstad, D.W. (ed.) Insect resistance management: Biology economics and prediction. Elsevier, Amsterdam
[note: also “risk assessment and risk factors” and “detection and verification”]

استكشاف المقاومة والتحقق منها

مبيدات الفطريات

FRAC. Undated. Monitoring methods to investigate possible development of resistance. Fungicide Resistance Action Committee (FRAC) (At: <http://www.frac.info/frac/index.htm>)

مبيدات الحشائش

HRAC. 1999. *Detecting herbicide resistance.* Herbicide Resistance Action Committee. (Available at: <http://www.hracglobal.com/Publications/DetectingHerbicideResistance.aspx>)

مبيدات الحشرات

IRAC. undated. Insecticide and acaricide resistance monitoring methods. Insecticide Resistance Action Committee (IRAC). (At: <http://www.irac-online.org/teams/methods>)

WHOPEP. Undated. Test procedures for monitoring resistance in disease vectors. WHO Pesticide Evaluation Scheme. (At: <http://www.who.int/whopes/resistance/en>)

مبيدات القوارض

CropLife. 2003. A reappraisal of blood clotting response tests for anticoagulant resistance and a proposal for a standardised BCR test methodology. Technical monograph. (At: http://www.rrac.info/releases_01.htm)

Prescott, C.V., Buckle, A.P., Hussain, I., Endepols, S. 2007. A standardised BCR-resistance test for all anticoagulant rodenticides. *Int. J. Pest Mgt.* 53(4): 265-272.

المقاومة والمحاصيل المعدلة وراثياً / جينيا

Carrière, Y., Dennehy, T.J., Pedersen, B., Haller, S., Eilers-Kirk, C., Antilla, L., Yong Biao, L., Willott, E. & Tabashnik, B.E. 2001 Large scale management of insect resistance to transgenic cotton in Arizona: Can transgenic insecticidal crops be sustained? *J. Econ. Entomol.* 94(2): 315-325. (At: <http://esa.publisher.ingentaconnect.com/content/esa/jee/2001/00000094/00000002/art00001>)

Ferré, J., Rie, J.V. & MacIntosh, S.C. 2008. Insecticidal genetically modified crops and insecticide resistance management (IRM). In: J. Romeis, A. M. Shelton & G. Kennedy. eds. *Integration of insect-resistant genetically modified crops within IPM programmes.* Progress in Biological Control, Vol. 5. Springer, Dordrecht.

Gassmann, A. J., 2012. Field-evolved resistance to Bt maize by western corn rootworm: Predictions from the laboratory and effects in the field. *J. Invert. Path.* 110 (2012) 287-293.

MacIntosh, S.C. 2009. *Managing the risk of insect resistance to transgenic insect control traits: Practical approaches in local environments*, Insecticide Resistance Action Committee, Brussels. (At: <http://www.irc-online.org/content/uploads/2009/09/SC-MacIntosh-IRM-manuscript.pdf>)

Bates, S.L., Ahao, J., Roush, R.T. & Selton, A.M. 2005. Insect resistance management in GM crops: past, present and future. *Nature Biotechnology* 23(1): 57-62.

Tabashnik, B.E., van Rensburg, J.B.J. & Carrière, Y. (2009) Field-evolved resistance to Bt crops: definition, theory and data. *Journal of Economic Entomology* 102: 2011-2025 (At: <http://docserver.ingentaconnect.com/deliver/connect/esa/00220493/v102n6/s1.pdf?expires=1346048945&id=0000&titleid=10264&checksum=0256E56CD08BF19CE865F2A3A09E4357>)

Huang, F., Andow, D.A. & Buschman, L.L. (2011) Success of the high-dose/refuge resistance management strategy after 15 years of Bt crops use in North America. *Entomologia Experimentalis et Applicata* 140:1-16 (At: <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/j.1570-7458.2011.01138.x/pdf>)

المقاومة وناقلات الأمراض

Brogdon, W.G. & McAllister, J. C. 1998. Insecticide resistance and vector control. *Emerging Infectious Diseases* 4(4): 517-713. (At: <http://www.cdc.gov/ncidod/eid/vol4no4/brogdon.htm>)

IRAC. 2011. *Prevention and management of insecticide resistance in vectors and pests of public health importance*. 2nd edition. Insecticide Resistance Action Committee (IRAC), Brussels.. (At: http://www.irc-online.org/wp-content/uploads/2009/09/VM-Layout-v2.6_LR.pdf)

Knobler, S.L., Lemon, S. M., Najafi, M., & Burroughs, T. (eds). 2003. *The resistance phenomenon in microbes and infectious disease vectors: Implications for human health and strategies for containment*. Chapter 3 – Vector resistance. National Academies Press, Washington, D.C. (At: http://books.nap.edu/openbook.php?record_id=10651&page=88)

الملحق الثاني: أمثلة عملية لخطط إدارة السيطرة على المقاومة

يتضمن هذا الملحق بعض الأمثلة من الواقع العملي لخطط إدارة السيطرة على المقاومة (RMPS) لمحاصيل معينة أو لبعض مجموعات من مبيدات الآفات. وهذا السرد ليس شاملاً وإنما هو على سبيل الاسترشاد فقط. ولا تتحمل منظمة الأغذية والزراعة للأمم المتحدة (FAO) مسؤولية الخطط الفردية لإدارة السيطرة على المقاومة. وكما تم التشديد في النص على ضرورة وضع خطط إدارة المقاومة لكل حالة على حدة والتي بموجبها يتم استخدام المبيد.

مبيدات الفطريات

معلومات عامة

- <http://pods.dasnr.okstate.edu/docushare/dsweb/Get/Document-2317/F-7663web.pdf>
- http://www.croplifeaustralia.org.au/default.asp?V_DOC_ID=1953
- http://www.cottoncra.org.au/content/Industry/Publications/Pests_and_Beneficials/Insect_Resistance_Management.aspx

بذور اللفت الزيتي (البذور الزيتية)

- <http://www.pesticides.gov.uk/guidance/industries/pesticides/advisory-groups/Resistance-Action-Groups/frag>

البطاطس

- <http://www.potatodiseases.org/pdf/Fungicide-Resistance-Management.pdf>
- http://www.extension.umn.edu/AgProfessionals/components/CPM/Stevenson_Fungicides.pdf

أشجار الفاكهة

- <http://tfpg.cas.psu.edu/56.htm>

مبيدات الحشائش

معلومات عامة

- منظمة الأغذية والزراعة (FAO) - إدارة السيطرة على مجتمعات الأعشاب المقاومة لمبيدات الحشائش.

<ftp://ftp.fao.org/docrep/fao/011/a1422e/a1422e00.pdf>

- http://www.croplifeaustralia.org.au/default.asp?V_DOC_ID=1954
- http://www.dpi.qld.gov.au/cps/rde/xchg/dpi/hs.xml/26_4240_ENA_HTML.htm
- http://www.dpi.qld.gov.au/cps/rde/xchg/dpi/hs.xml/26_4239_ENA_HTML.htm
- http://www.croplifeaustralia.org.au/default.asp?V_DOC_ID=1854,
- <http://www.croplifeaustralia.org.au/files/resistancemanagement/herbicides/2010%20Herbicide%20Resistance%20Management%20Strategies.pdf>

القطن

- http://cottoninfo.ucdavis.edu/Production_Guidelines/
- <http://www.cotton.org/tech/pest/upload/07CIweedresistbulletin.pdf>

الذرة

- <http://www.nwnyteam.org/Corn%20Congress%20Presentations/Herbicide%20Resistance%20Management%20Strategies.pdf>

الذرة المُعدلة وراثياً/ جينيا

- <http://text.lsuagcenter.com/NR/rdonlyres/FC8C9299-F8CA-4F99-869D-f3EB0FB0B5502/45400/pub2963herbicideresistancecotton2008HIGHRES.pdf>

مبيدات الحشرات

معلومات عامة

- http://www.croplifeaustralia.org.au/default.asp?V_DOC_ID=1955

القطن

- http://www.cottoncrc.org.au/industry/Publications/Pests_and_Beneficials/Insect_Resistance_Management

خضروات-الكرب

- http://www.sardi.sa.gov.au/_data/assets/pdf_file/0005/91616/irm_flyer_sept_2008.pdf

الصوب الزراعية (الدفينات)

- www.entomology.umn.edu/cues/4015/ppts/greenhouseRM.ppt

بذور اللفت الزيتي (الحبوب الزيتية)

- <http://www.irc-online.org/news/updated-monitoring-and-irm-guidelines-in-oilseed-2>
- <http://www.pesticides.gov.uk/guidance/industries/pesticides/advisory-groups/Resistance-Action-Groups/frag>

نباتات الزينة

- http://solutionsforyourlife.ufl.edu/hot_topics/agriculture/whiteflies.html#resistance

محاصيل مختلطة (قطن ، شمام، خضروات)

- <http://www.cals.arizona.edu/pubs/insects/az1319.pdf>

البطاطس

- http://www.nationalpotatocouncil.org/NPC/p_documents/document_280607084102.pdf
- <http://www.hort.uconn.edu/IPM/veg/htms/cpbipm.htm>
- <http://www.pesticides.gov.uk/guidance/industries/pesticides/advisory-groups/Resistance-Action-Groups/irag>

محاصيل مزروعة في صفوف

- <http://www.pesticides.gov.uk/guidance/industries/pesticides/advisory-groups/Resistance-Action-Groups/irag>

الفراولة

- <http://www.ipmcenters.org/pmsp/pdf/CASTRAWBERRY.PDF>

الملحق الثالث: جماعات الخبراء

جماعات الخبراء بشأن المقاومة

اللجان الدولية المعنية بمجابهة المقاومة لفعل المبيدات (RACs)

جماعات الخبراء للاتحاد العالمي الممثل للصناعات المرتبطة بالمجالات الزراعية (CropLife)

- لجنة مجابهة المقاومة للمبيدات الفطرية (FRAC) : <http://www.frac.info/frac/index.htm>
- اللجنة المعنية بمجابهة المقاومة لمبيدات الحشائش (HRAC) : <http://www.hracglobal.com/>
- اللجنة المعنية بمجابهة المقاومة للمبيدات الحشرية (IRAC) : <http://www.irac-online.org/>
- لجنة العمل المعنية بمقاومة الآفات لفعل مبيدات القوارض (RRAC) : <http://www.rrac.info/>

الجماعات المعنية بمجابهة المقاومة لفعل المبيدات – المملكة المتحدة

الجماعات المعنية بمجابهة المقاومة لفعل المبيدات وتتكون من خبراء من الجهات المصنعة للمبيدات والمنظمات المستقلة – مقرها المملكة المتحدة UK

<http://www.pesticides.gov.uk/guidance/industries/pesticides/advisory-groups/Resistance-Action-Groups>

جماعات مراجعة خطط إدارة المقاومة - استراليا

جماعات خبراء " كروب لايف" في استراليا وتتكون من خبراء للجهات المصنعة للمبيدات.

http://www.croplifeaustralia.org.au/default.asp?V_DOC_ID=1952

جماعات الخبراء- والجماعات الأخرى المعنية بالسلع الأساسية

- جمعية الحشرات الأمريكية – المعلومات المتعلقة بالمقاومة متاحة على العنوان التالي:
<http://www.entsoc.org/Search/default.aspx> (Enter *resistance* in search box)
- جمعية علوم الحشائش الأمريكية- المعلومات المتعلقة بالمقاومة متاحة على العنوان التالي:
http://www.wssa.net/00Search/search.php?zoom_query=herbicide+resistance
- جمعية الحشائش الأوروبية – المعلومات المتعلقة بالمقاومة متاحة على العنوان التالي:
http://www.ewrs.org/herbicide_resistance.asp
- مجلس القطن الوطني- المعلومات المتعلقة بالمقاومة متاحة على العنوان التالي:
<http://www.cotton.org/search.cfm> (Enter *insecticide resistance* or *herbicide resistance* in the search box).
- إدارة السيطرة على مقاومة مبيدات الآفات (من WERA60)
<http://nimss.umd.edu/homepages/home.cfm?trackID=9616>