



مدونة السلوك الدولية
عن توزيع المبيدات واستعمالها

**الخطوط التوجيهية الخاصة بمنع وإدارة المقاومة
ل فعل مبيدات الآفات**



سبتمبر 2012

**مدونة السلوك الدولية
عن توزيع المبيدات واستعمالها**

**الخطوط التوجيهية الخاصة بمنع وإدارة المقاومة
لفعل مبيدات الآفات**

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

إشراف ومراجعة للترجمة العربية
الدكتور / شوقي عبد الولي الدباعي
المسؤول الإقليمي لوقاية النباتات
المكتب الإقليمي لمنظمة الأغذية والزراعة للأمم المتحدة
للشرق الأدنى وشمال أفريقيا

منظمة الأغذية والزراعة للأمم المتحدة (FAO)
سبتمبر 2012

الأوصاف المستخدمة في هذا الإصدار وطريقة عرضها لا تعبّر 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 ونفوذها. ولا تعبّر 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 لاغراض 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.

تأسس برنامج "مابين المنظمات للإدارة السليمة للمبيدات (IOMC)" عام 1995 بناءً على توصيات "مؤتمر الأمم المتحدة حول البيئة والتنمية" الذي انعقد عام 1992، وذلك تدعيمًا 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 الأمم المتحدة للتنمية الصناعية (UNIDO)، هيئة الأمم المتحدة للتربية 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 للكيماويات، 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 أصلًا 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

6	المختصرات	
7	التعريف	
10	مقدمة	-1
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 تنقيف وتوسيعية المزارعين	
12	تقييم مخاطر المقاومة	-2
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 (الإحيائية)	
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	
41	منع وإدارة مقاومة الآفات لفعل المبيدات	-3
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	
56	اكتشاف المقاومة لفعل المبيدات والتحقق منها	-4
56	1-4 أهداف كشف ورصد المقاومة	
58	2-4 طرق التحقق من المقاومة	
60	3-4 إجراءات الاختبار	
60	المقاومة والمحاصيل المحورة وراثياً/جينياً	-5
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 توكتينات بكتيريا الباسيلس (<i>Bt</i>)	
65	مقاومة ناقلات الأمراض	-6
66	الملحق الأول: موضوعات إضافية لمزيد من القراءة	
70	الملحق الثاني: أمثلة عملية لخطط إدارة السيطرة على المقاومة	

المختصرات

بكتيريا باسيل스 ثورنچينسيس	Bt
منظمة الأغذية والزراعة للأمم المتحدة	FAO
لجنة مجابهة المقاومة للمبيدات الفطرية	FRAC
فريق العمل المعنى بمقاومة الآفات لفعل المبيدات الفطرية	FRAG
الكائنات المعدلة وراثياً/جينياً	GMO
اللجنة المعنية بمحاربة المقاومة لمبيدات الحشائش	HRAC
اللجنة المعنية بمحاربة المقاومة للمبيدات الحشرية	IRAC
فريق العمل المعنى 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 متماثل الزيجوت(متماثل الآلائل) لصفة المقاومة	RR
لجنة العمل المعنى بمقاومة الآفات لفعل مبيدات القوارض	RRAC
كائن حي متغير الزيجوت (متغير الآلائل) لصفة المقاومة	RS
أفراد حساسة	S individuals
كائن حي متماثل الزيجوت (متماثل الآلائل) لصفة الحساسية	SS
منظمة الصحة العالمية	WHO

تعريف

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

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 وأو 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 يمكن 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 تُستخدم للتمييز أو التفريق بين الأفراد المقاومة والحساسة وليس لها علاقة مباشرة بالفاءة 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 والجذريمة.

مقاومة أيضية (استقلابية): يُستدل على مقاومة الأفة 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 تخلص 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 للأفة، غالباً ما تؤدي إلى موت الأفة. وعادة ما يكون ذلك موقع ارتباط مستهدف 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 لمقاومة 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 مستهدف. ولكي يصبح الكائن الحي مقاوم فإنه يحتاج حينئذ لتطور المقاومة في أكثر من موقع من المواقع المستهدفة 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 التخل: إحدى آليات المقاومة لفعل المبيدات، وتقتصر بصفة أساسية على الحشرات، حيث يعمل الجليد (الكيوتكل) على إبطاء نفاذ أو تخل المبيد إلى داخل جسم الحشرة. وعادة ما يوجد هذا النوع من المقاومة جنبا 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 نقلات الأمراض للإنسان أو الحيوان، وأنواع النباتات أو الحيوانات غير المرغوبه 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 لتخفييفها. كما يشمل أيضاً مركبات عقد الثمار أو تخفييفها 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 مجموعة 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 "المُنتَخِبة" 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 أعدت هذه الوثيقة لأجل المتخصصين العلميين والتقيين 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 بجين بكتيريا باسيليس 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/جينياً)، 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 تتوافر الإرشادات بشأن إدارة السيطرة على مقاومة آفات الصحة العامة وناقلات الأمراض في مواضع أخرى.

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

وحدث الطرفات الچينية. وتنشر هذه الچينات داخل مجموع عشائر الآفة بسبب عملية الانتخاب التي تحدث نتيجة تكرار المعاملات بالمبيد. وظهور عشائر الآفة المقاومة بسبب الأفراد التي تحمل صفة المقاومة وتستطيع أن تحمل 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 المكافحة 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 المعاملة بالمبيد؛
- تكرار معاملة الكائن الحي ذو العشائر عالية الكثافة، وفترات الجيل قصيرة؛
- التقصير في إدخال ممارسات المكافحة التي لا تُستخدم فيها مبيدات كيماوية 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 تساعده على منع انتشار زرّيعة الآفات والأبوااغ (الجرائم) 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 چينات صفة الحساسية داخل عشائر الآفة مع الحفاظ على چينات 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 ترتكز على مبادئ وأسس الإدارة المتكاملة للأفات ونماذج الأمراض، التي من شأنها أن تحد من استخدام المبيدات وبالتالي تقليل الضغط الانتخابي الذي يتسبب في المقاومة؛ ثانياً، تنفيذ خطة شاملة مهيئة لإدارة السيطرة على المقاومة وتتلاءم مع الآفة والمحصول والمنطقة، وأن تشكل جزءاً مكملاً في استراتيجية الإدارة المتكاملة للأفات (IPM) المتعلقة بالنظام المحسولي، حيث أن المبدأ الرئيسي في الإدارة المتكاملة للأفات هو استخدام المبيدات فقط عند الضرورة القصوى، واللجوء إلى استخدام أساليب بديلة في إدارة الآفات كلما كان ذلك ممكناً. وعلى ذلك، فإن الإدارة المتكاملة للأفات تمثل منهجاً أصيلاً في إدارة السيطرة على المقاومة عن طريق الحد من الضغط الانتخابي الذي يؤدي إلى تطور وظهور ظاهرة المقاومة.

٤-١ 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 معدة 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 يتعمّن على المزارعين معرفة ما يجب عمله لكي يمكن تطبيق برنامج الإدارة المتكاملة لمكافحة الآفات ومنع تطور ظاهرة المقاومة وإدراك ما هي أهمية ذلك. كما يجب أن تكون المعلومات في متناول اليد على نطاق واسع ومفهومة لهم.

٢- 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 مفهومية.

١-٢ أساسيات المقاومة

ما هي المقاومة؟

يمكن تعريف المقاومة بأنها تغيير وراثي/جيني في الكائن الحي استجابة لحدث "الانتخاب" بواسطة المواد السامة. ولا يؤدي تطور المقاومة مباشرة إلى عرقلة وتدور عملية مكافحة الآفات. فعلى سبيل المثال، ربما يلاحظ 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 المكافحة في الحقل.

عندما تفشل عمليات مكافحة الآفات في الحقل بسبب المقاومة للمبيدات، فإننا نتكلم عن "المقاومة الملموسة". وهي تغير 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 طبيعياً، مما يسمح لنسبة صغيرة من مجموع عشائر الآفة بأن تقاوم وتتجوّل 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 ممبنة، ولكن صفة التحمل لا تُورث إلى النسل.

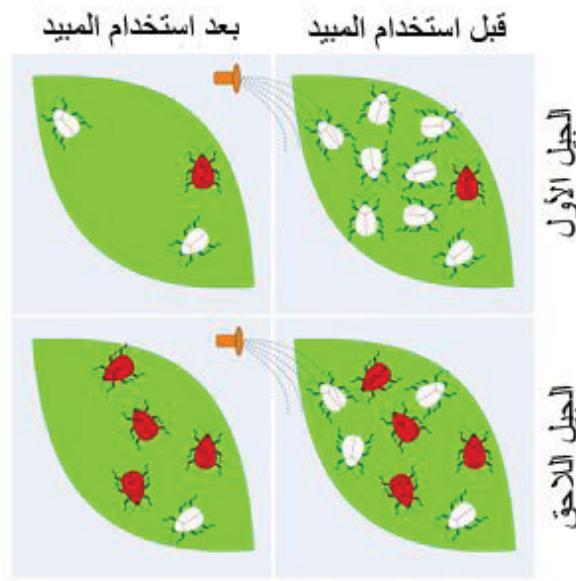
إن تطور المقاومة ما هي إلا عملية وراثية. وتكون "السمة أو الصفة" التي تمنح المقاومة، في الصين واحد أو أكثر. والجين (أو المورث) هو جزء من كروموسوم (صيغي) في خلية الكائن الحي. وعندما تتكاثر أفراد العشيرة، فإنها تنقل هذه الصفات عبر تركيبة مُؤلفة من جينات إلى نسلها. وللجين أشكال بديلة يطلق على كل منها أليل، فالليل هو واحد من اثنين أو أكثر من الأشكال المتعددة للجين والتي تحكم 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 (الصيغيات) ويطلق عليها ثنائية الصيغيات Diploid. وتحمل هذه الكائنات ثنائية الصيغيات 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 الآليل لكل جين. إذا كان كلاً الأليلان متطابقان، فالكائن الحي يكون متماثل الزيجوت، أما إذا كان الأليلان مختلفان فالكائن الحي يوصف بأنه متباين الزيجوت. بعض الكائنات الحية (مثل كثير من النباتات، في مرحلة النمو الخضري خلال دورة حياتها) تكون أحادية الكروموسومات (الصيغيات) ويطلق عليها Haploid؛ حيث أنها تحمل مجموعة أحادية من الكروموسومات المفردة.

وتتراوح الآليل المقاومة ما بين سائدة وشبه سائدة ومتتحية. 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 متتحياً فإن كلاً الأبوين يجب أن يمتلكا هذه الصفة. ومن حسن الحظ أن معظم آليات المقاومة

يتم التحكم فيها بواسطة الآلائل 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 كلاً أليلين الجين. وعندما يحمل كلاً الأليلان صفة المقاومة، فإنها تكتب RR ، وتوصف الآفة بأنها متماثلة الزيجوت (متماثلة الآلائل) 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 متغيرة الزيجوت (متغيرة الآلائل) لصفة المقاومة (RS)، وتكون أقل مقاومة لمبيد الآفات، وقد تنتقل هذه الصفة أو لا تنتقل على الجين إلى نسلها. أما الأفراد متماثلة الزيجوت (متماثلة الآلائل) 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. غالباً 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. ويعود ذلك هو أحد الأسباب التي تجعل منع تطور المقاومة أفضل من محاولة علاجها بعد أن تكون قد ظهرت وتتطورت.

2- آليات المقاومة لفعل المبيدات

تستخدم الآفات الزراعية آليات متنوعة للمقاومة لكي تتجوّل بعد تعرضها للمواد السامة وتبقى على قيد الحياة. ويمكن أن تكون وتطور المقاومة بسهولة أكثر عند استخدام الآفة الآيتين أو أكثر من آليات المقاومة في آن واحد. وتدرج 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 والمرضيات. وتعتمد هذه الآلة على نظم إنزيمية تُطورها الحشرات لإزالة السموم (الтокسينات) الطبيعية الموجودة في عوائلها النباتية، وفي الدم الذي تتبعه الحشرات التي تتغذى على الدم. وتشمل هذه النظم الإنزيمية استيريزس، وستيوكروم P450 مونو أكسيدجيز، وجلوتاثيون-إس-ترانسيفيريزس. وقد تمتلك الحشرات المقاومة مستويات مرتفعة من إنزيم معين 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. غالباً ما تعمل هذه الآلة على انشطار أو انفصال جزء من المبيد أو إضافة جزيئات آلية، مثل ذلك، إنزيم جلوتاثيون ترانسيفيريز الذي يزيل سمية المركب.

وتحدث مقاومة مبيدات الحشائش بآليات متعددة منها رفع معدلات تمثيل المبيد، وهي إحدى آليات المقاومة الشائعة في الحشائش. مثل ذلك، مقاومة مثبطات الاسيتايـلـمرافق انزيمي A كربوكسيليز (ACCase)، وأسيتوـلاكتـاتـ سـينـشـيز (ALS)، ونـظـامـ الـبنـاءـ الضـوـئـيـ II (PS2) عن طريق زيادة معدلات تمثيل مبيد الحشائش كما أشارت التقارير.

خفض حساسية الموقع المستهدف

في هذه الآلة 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 الآلة 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 چين مقاومة الصرع ويغير من وظيفة قنوات الصوديوم الحساسة كهربياً في الخلايا العصبية. وهذه إحدى الآليات الشائعة التي تستخدم في مقاومة مبيد ددب ومركيبات البيرثريودز، مثل ذلك، بعوضة الأنوفيليس *Anopheles gambiae* والصرصور الألماني *Blattella germanica*. ويوجد العديد من الطفرات التي تنتج سلالات مقاومة للصرع تسمى *Kdr* وأخرى فائقة المقاومة تسمى سوبر *Kdr*.
- (استيال كولين استريز المعدل *MACE*) حيث يتم تعديل في تركيب أو بناء إنزيم الاستيال كولين استريز بحيث لا يُؤثر بالمبيد الحشري. مثل ذلك آلية المقاومة لمبيد بيرميكارب في حشرة من البرقوق *Phorodon humuli*، وهذه الآلية مسؤولة أيضاً عن المقاومة في أكاروس العنكبوت الأحمر *Tetranychus urticae*.
- مقاومة مبيد الديالدرin (*Rdi*)، تحول في الموقع المستهدف يعمل على خفض ارتباط الديالدرin بمستقبل جaba *GABA* (حمض جاما أمينو بيوتريك) وبالتالي إلى حدوث المقاومة. مثل ذلك المقاومة لمبيد الديالدرin في البعوضة المنزلية البنية *Anopheles quadrimaculatus*، وفي ذبابة الغنم الاسترالي *Lucilia cuprina*.
- تحدث مقاومة بكتيريا باسيلس ثورنچينسيس (*Bt*) من خلال آلية فقد الالتصاق المعتمد 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 ترتبط 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 أستيال-مرافق إنزيمي A كربوكسيليز (*ACCase*).
- مثبطات نظام البناء الضوئي *PS2*.

خفض النفاذية/الامتصاص

تعمل هذه الآلية للمقاومة على إبطاء نفاذية المبيد الحشري خلال كيوتكل (الجليد) الحشرة المقاومة. ولا تستطيع هذه الآلية بمفردها إلا تكوين مستويات منخفضة من المقاومة. ومع ذلك، فإن إبطاء نفاذية المادة السامة خلال الكيوتكل من شأنه أن يعزز تأثير آليات المقاومة الأخرى بشكل كبير. فعلى سبيل المثال، إذا وجدت حشرة وكان من الصعب اختراق المبيد لجليدتها، فإن مقدار مقاومتها قد يصل إلى 25 ضعف، في حين أنه إذا احتزلت 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 موقع 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 چليفوسات وباركرولات 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

تقصر 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 الاعتناء عندما تلتقي بمبيدات معينة، أو قد تترك المنطقة التي تمت بها عمليات رش بأحد المبيدات أو تقوم بتعديل سلوكها (مثلاً ذلك، ربما تتحرك الحشرات نحو السطح السفلي لأوراق النبات المرشوش، أو تتغول في داخل العرش الخصري 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 الجرارات القاتلة من مبيد الآفات.

2-3 العوامل الرئيسية في تطور المقاومة

تبادر مخاطر تطور المقاومة إلى حد كبير بين مجموعات 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 وتُستخدم 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 موقع مستهدفة عديدة ويتكسر مراراً 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 منخفض كثيراً. وعلى ذلك، وكما يُقال إن تطور المقاومة لا يكون دائماً كما هو متوقع.

وغالباً ما يتواجد 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 تترجم عن الاستخدامات الجديدة للمركبات أو الاستخدامات في موقع 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 لآفات 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 مرتكبات مماثلة في تركيبها الكيميائي وطريقة فعلها، ومن آفات مشابهة لآفات 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 ثلاثة مجموعات: العوامل البيولوجية (بيولوجيا الآفة)؛ والعوامل الوراثية (التركيب الوراثي/الجيني للأفة) 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 تتطوي 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 يستخدم فيها هذا المركب. وعلى الأرجح أن يوجد أوجه تشابه بين المركبات والآفات واستخدامات، إلا أن كل حالة ستكون مختلفة ككل. ومعأخذ 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	الاقدار التناسلي (التكاثري)
أجيال كثيرة في السنة	جيل واحد أو أقل في السنة	دوران الجيل (عدد الأجيال)
لا جنسي	جنسى	نوع التكاثر
كثير	ضئيل	الانتشار
صغير أو معذوم	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 چينات المقاومة
عديدة	واحدة	عدد آليات المقاومة
كثير	منخفض	تكرار چين المقاومة
سائدة	متتحبة	سيادة چينات المقاومة
جيدة	ضعيفة	"لياقة الأفراد المقاومة" R
جيدة	ضعيفة	توفير الحماية بواسطة چين المقاومة" R
إيجابية	سلالية أو معذومة	المقاومة المشتركة

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

2-3-2 العوامل البيولوچیة (الاحيائیة)

حجم العشيرة

يُعد حجم عشيرة الآفة عاملًا رئيسيًا في تطور المقاومة. ففي الحشرات كلما زاد حجم العشيرة، كلما زادت الفرصة لظهور المقاومة. وحينما يكون حجم العشيرة كبيرًا فإن عدد الأفراد التي تنجو وتبقى على قيد الحياة بعد تطبيق المبيد قد يكون كبيرًا نوًعاً 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 وتمرير جينات المقاومة لنسلها تكون جيدة. وعلى النقيض، إذا كان حجم عشيرة الآفة صغيرًا فإن فرصة نجاح عمليات التزاوج للأفراد

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

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 (العدم 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 بعده 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 تتکاثر 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 يزيد من فرصة وجود المزيد من الأفراد التي تحمل صفات المقاومة، ومن ثم، إذا استمر استخدام مبيدات الآفات فإنه سيتيح الفرصة لانتخاب الأفراد التي تحمل واحد أو اثنين من الآئل (النسخ البديلة للجين) المقاومة. وكلما زادت أعداد الأفراد الحاملة لجينات المقاومة التي تبقى على قيد الحياة بعد المعاملة بالمبيد، كلما زاد احتمال قيام الأفراد متغيرة الزيجوت أو متماثلة الزيجوت بالتزاوج، مما قد يؤدي إلى زيادة تكرار جينات المقاومة في عشائر الآفة.

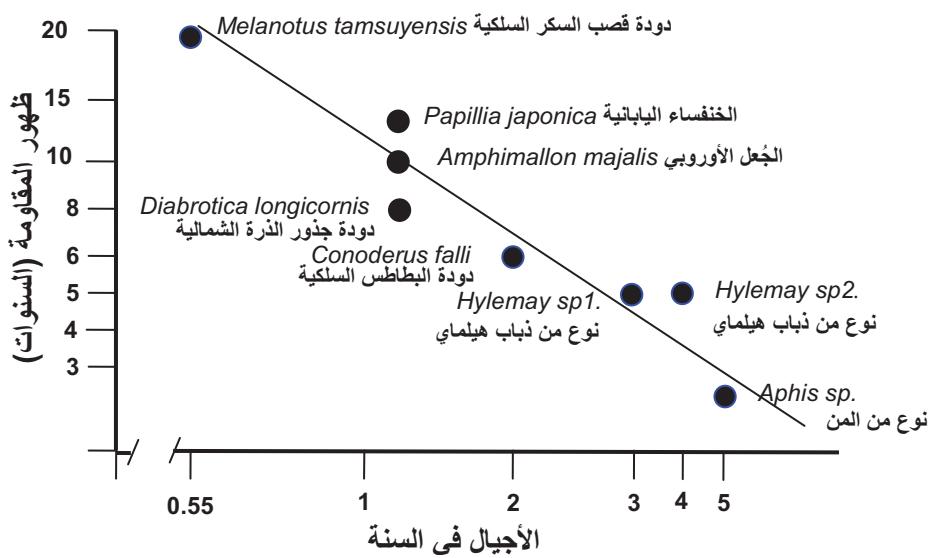
وفي الحشائش، فإن الأنواع الحولية ذات الإنتاج العالي للبذور والتنوع الوراثي الكبير لديها فرصة أفضل لتطور المقاومة منها في الأنواع ذات الإنتاج الأقل للبذور والتنوع الوراثي المنخفض.

وفي الفطريات، فإن معظم عمليات الإكثار أو التضاعف تحدث بواسطة الأبواغ (الجراثيم) اللاحنسية التي تتحرر من بقع الإصابة المرضية الشديدة بأعداد ضخمة وتنتقل بواسطة الهواء أو الماء (قطيرات الماء المنتشرة 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 المرض. أما الأبواغ (الجراثيم) الجنسية، فهي تتكون، حيثما يتم إنتاجها، عادة في أواخر الموسم وتتحرر في أوائل الموسم التالي بقضاء 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 الأدرين/الديالدرین، 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 للافة الحشرية وظهور المقاومة بالانتخاب نتيجة معاملة التربة بالأدرين/الديالدرین [المصدر: مجلس البحوث الوطني NRC (1986)]

نوع التكاثر

يمكن أن يساهم كلاً من التكاثر الجنسي واللاجنسي في تطور المقاومة. حيث يوفر التكاثر الجنسي الحافز لإعادة ترتيب الجينوم (مجموع الجينات في الكائن). ومع ذلك، فإنه بمجرد أن تكون 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 اللاجنسيّة (الجراثيم الكونيدية)، ويكون النسل الناتج بصفة أساسية عبارة عن نسائل (مثيل وراثي)

لآبائهم. فإذا كان جزء من أحد عشائر 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 بقى 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 تتکاثر خضررياً منها في الأنواع التي بها تلقيح خلطي.

الانتشار أو الانتثار

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 تنتشر 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 تنتشر بذورها بسهولة بواسطة الرياح. أما في الحشرات والأمراض، فإن وفود الأفراد متغيرة الزيجوت لصفة المقاومة أو الأفراد الحساسة ستقلل من حدة المقاومة في العشيرة محل الاهتمام، حيث أن الحشرات الوافدة يمكن أن تقوم بالتزاوج مع الأفراد التي بقيت على قيد الحياة بعد المعاملة وتختفي من حدة أعداد الأفراد المقاومة. وكذلك فإن أبواغ (جراثيم) الممرض الوافدة تكون بقع إصابة وتنتج مستعمرات جديدة من أنواع حساسة. وهذا هو الأساس في استخدام المناطق العازلة (باعتبارها مأوى أو ملاذ) لحفظ 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 وتتدخل چين المقاومة إلى العشائر المتواجدة بهذه الحقول.

في الحالات التي تكون فيها صفة المقاومة متحية من الناحية الوظيفية، فإن أفراد قليلة فقط في العشيرة هي التي تكون مقاومة متماثلة الزيجوت لصفة المقاومة (RR) وتستطيع أن تنجو بعد المعاملة بالمبيد الحشرى وتبقى على قيد الحياة. وحيث أن الأفراد الحساسة متماثلة الزيجوت لصفة الحساسية (SS) تتحرك إلى داخل المنطقة وتقوم بالتزاوج مع الأفراد المتبقية على قيد الحياة، فإن كثير من أفراد النسل الناتج ستكون متغيرة الزيجوت 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، متغيرة الزيجوت لصفة المقاومة (RS) سوف تُقتل. ومع ذلك، إذا حدث

وأن استخدمت جرعة أقل و/أو كانت تغطية المبيد ردئه، فإن تطبيقات المبيد اللاحقة يمكن أن تؤدي إلى بقاء أفراد متغيرة الزيجوت 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 بعض 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 ي العمل على تقليل مستويات المقاومة.

تمثيل (استقلاب) لمبيد الآفات

يُعد التزايد في الانهيار التمثيلي لمبيد الآفات إحدى الآيات 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

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

نطاق عوائل الآفة

الآفات التي تتمتع ب مدى 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 قربه 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 ثلاثة وأربع عمليات انتخاب لآفة، في حين أن المتخصص في الخضروات يرى أنه تم أربع إلى خمس عمليات انتخاب فقط لآفة، ولكن في الواقع الأمر أن الحشرة استقبلت من سبع إلى تسعة معاملات وبالتالي تمت ما بين سبع إلى تسعة عمليات انتخاب لآفة. وهذا هو السبب في أنه من المهم، بالنسبة لمبيدات الآفات، وعلى الأخص للمبيدات الحشرية، القيام بتصميم استراتيجيات لإدارة السيطرة على المقاومة تُركز على المنطقة في المقام الأول فضلاً عن التركيز على المحصول.

أما فيما يتعلق بالمبيدات الفطرية، فإن هذه الاعتبارات تعد أقل أهمية، حيث أن المرض النباتي دائمًا ما يصيب محاصيل محددة، وغالبًا ما تنشأ المشاكل فقط إذا كانت المحاصيل المجاورة هي نفسها كالمحصول المعامل. 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 المرض بسبب التعرض المستمر للمبيد الفطري.

2-3-2 العوامل الوراثية /الجينية

وجود چينات المقاومة

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

عدد آليات المقاومة

كما هو مذكور آنفًا (انظر 2-2)، توجد آليات للمقاومة متعددة مما يسمح للافة الزراعية أن تنجو وتبقى على قيد الحياة بعد تعرضها للمادة السامة، وأن المقاومة يمكن أن تتطور بشكل أكثر سهولة عندما يتواجد 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 لآلتين من آليات المقاومة أيضًا 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 چين المقاومة

تكرار چين (غالباً ما يشار إليه بتكرار الآليل) عبارة عن النسبة لجميع نسخ چين الذي يتكون من بديل چيني معين (أو آليل). وتكرار آليل المقاومة له تأثير كبير في تطور المقاومة. وفي معظم الأحوال فإن تكرار الأفراد متماثلة الزيجوت (متماطلة الآلائل) 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 متغيرة الزيجوت (متغيرة الآلائل) لصفة المقاومة أعلى في العشيرة. وقد تؤثر عوامل أخرى في انتخاب الأفراد

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

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

سيادة چين (أو چينات) المقاومة

يمكن أن تترواح چينات المقاومة ما بين سائدة وشبه سائدة ومتتحية. 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 متتحية فيجب أن يحمل كلاً الأبوين هذه الصفة. وعندما تكون صفة المقاومة سائدة وراثياً، فإنها تتربّسخ 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 چينات المتتحية أو شبه السائدة، الأمر الذي من شأنه أن يزيد من فرصـة السيطرة على العشائر المقاومة. فمثلاً في حالة المبيدات الفطرية المحتوية أميد حمض الكربوكسيـيليك، فإن صفة المقاومة في فطر البياض الغربي *Plasmopara viticola* على كروم العنبر متتحية، وبذلك تكون الأفراد متماثلة الزيجوت (متماثلة الآلـالـلـ) هي التي تكون مقاومة فقط. ويعتقد أن هذا هو تفسير لماذا لا تتطور ظاهرة المقاومة في عشائر الفطر *Plasmopara viticola*.

وفي الحشرات، قد يمكن تهيئـة چينات السائدة أو المتتحية بشكل غير تام وظيفياً لكي تؤدي وظيفة چينات السائدة، ويحدث ذلك عندما تتعرض الأفراد التي تحمل هذه چينات لمعدلات منخفضة من جرعـات المـبيـدـ الحـشـريـ. وقد تكون هذه الجرعـاتـ المـنـخـفـضـةـ بـسبـبـ التـعـدـمـ فيـ استـخـدـامـ مـعـدـلـاتـ أقلـ بهـدـفـ خـفـضـ التـكـلـفـ،ـ أوـ لـعـدـمـ التـعـطـيـةـ الـكافـيـةـ بـالـمـبـيـدـ سـوـاءـ لـلـنـبـاتـ أوـ الـمـنـطـقـةـ الـمـعـالـمـةـ،ـ أوـ تـعـرـضـ الـآـفـةـ لـمـتـبـقـيـاتـ الـمـبـيـدـ بـعـدـ اـنـهـيـارـ هـاـ عـلـىـ الـأـسـطـحـ الـمـعـالـمـةـ.ـ وـحـيـثـماـ يـحـدـثـ ذـلـكـ،ـ فـإـنـ الـأـفـرـادـ مـتـغـيـرـةـ الـزـيـجـوـتـ (ـمـتـغـيـرـةـ الـآـلـالـلـ)ـ لـصـفـةـ الـمـقاـوـمـةـ تـنـجـوـ وـتـبـقـىـ عـلـىـ قـدـ الـحـيـاةـ وـتـنـتـقـلـ چـينـاتـ الـمـقاـوـمـةـ الـتـيـ تـحـلـمـهاـ عـنـدـاـ تـنـزاـوجـ معـ أـفـرـادـ أـخـرىـ مـتـغـيـرـةـ الـزـيـجـوـتـ أـوـ حـسـاسـةـ.

"R" لـيـاقـةـ الـأـفـرـادـ الـمـقاـوـمـةـ

ربما تعاني الأفراد التي تحمل چين المقاومة من ما يعرف "بتكلفة اللياقة" (افتقار الكائن الحي المقاوم لبعض الخصائص الأخرى مقابل صفة المقاومة) مثل قلة الحيوية وأختلاف التوقيت في دورة الحياة، الأمر الذي يجعل من الصعب حدوث التزاوج مع أفراد لا تحمل چين المقاومة "R". وإذا كانت تكاليف اللياقة لـچـينـاتـ الـمـقاـوـمـةـ منـخـفـضـةـ،ـ فـإـنـ چـينـاتـ الـمـقاـوـمـةـ قدـ تـرـاكـمـ بشـكـلـ سـرـيعـ جـداـ فيـ عـشـيرـةـ الـآـفـةـ.ـ وـمـعـ ذـلـكـ،ـ إـذـاـ كـانـتـ تـكـالـيفـ لـيـاقـةـ الـآـفـةـ الـمـقاـوـمـةـ مـرـتفـعـةـ،ـ فـإـنـهـ فـقـطـ فيـ حـالـةـ وـجـودـ الـمـبـيـدـ سـيـكـونـ لـلـأـفـرـادـ الـمـقاـوـمـةـ مـيـزةـ هـائـلـةـ تـفـوقـ بـهـاـ عـلـىـ الـأـفـرـادـ الـحـسـاسـةـ،ـ مـنـ حـيـثـ لـيـاقـتـهـاـ فـيـ مـقاـوـمـةـ فـعـلـ هـذـاـ الـمـبـيـدـ.ـ أـمـاـ فيـ حـالـةـ دـعـمـ وـجـودـ الـمـبـيـدـ،ـ فـقـدـ تـكـونـ صـفـاتـ الـمـقاـوـمـةـ غـيـرـ قـادـرـةـ عـلـىـ الـمـنـافـسـةـ وـتـفـقـدـ بـسـرـعـةـ كـبـيرـةـ.ـ وـهـذـاـ

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

ومع ذلك، فإنه لا يكون الحال هكذا دائماً لأن 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 وتتحول ويتم انتخابها بعد ذلك لمزيد من اللياقة.

توفير الحماية بواسطة چينات المقاومة "R"

عندما يوفر چين المقاومة درجة عالية من الحماية للافة ضد المبيد، فمن المحتمل جداً أن تستطيع الأفراد التي تحمل ذلك الچين أن تنجو بعد المعاملة بالمبيد وتبقى على قيد الحياة وأن تورث چين المقاومة للجيل التالي. ومع ذلك، إذا كان چين المقاومة لا يستطيع سوى أن يوفر مستوىً متواسطً من الحماية فقط، فإن الأفراد التي تحمل هذا الچين سوف يتم حمايتها من جرّات المبيد المنخفضة وليس من الجرعات العالية. وهذا سبب آخر للتأكد على ضرورة استخدام معدلات جرّات المبيد كاملة وفقاً لبطاقة بيانات العبوة، علاوة على تطبيق أفضل تغطية ممكنة للأسطح المعاملة بالمبيد. حيث أن استخدام جرّات أقل من الموصى بها أو إجراء تغطية ردئية يعمل على تراكم چينات 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. وتحت المقاومة المشتركة بسبب وجود مركبين أو أكثر يعملون على نفس الموقع المستهدف و/أو يتآثران بنفس آلية المقاومة. وت تكون 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، يتآثر كلاً من مبيدات الددب والبيروثرويدات بالچين 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 الددب، 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 لچين المقاومة

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

لا يعني بالضرورة أن المركب الجديد سيكون غير فعال أو أن تطور المقاومة تجاهه سيحدث بشكل سريع. ذلك 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 عالي من المقاومة المشتركة وكانت توجد مشكلة خطيرة للمقاومة في الماضي، فإن احتمال تطور المقاومة على نحو سريع تجاه المركب الجديد يكون عالياً.

جيئات التعديل (المُعَدِّلات)

قد تكون جيئات المقاومة ضارة للآفات التي تحملها وتوثر عليها بدرجات قد تكون قليلة أو كبيرة. غير أنه مع مرور الوقت والانتخاب المتواصل قد يمكن التغلب على اللياقة المنخفضة للأفراد المقاومة عن طريق جيئات إضافية أو مُعَدِّلات جيئية مرتبطة بتحسين اللياقة. وفي بعض الحالات، يتم التغلب بصورة تامة تقريباً على تكاليف اللياقة لجيئ 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 جيئات التعديل (المُعَدِّلات) يكون مفهوماً على نحو أفضل في الحشرات والحشائش. أما في الفطريات، فلم يتم سوى إجراء أبحاث قليلة نسبياً تتعلق بجيئات التعديل أو المُعَدِّلات، رغم أنه من المعروف أن المقاومة يمكن أن تظهر ضد فعل المبيدات الفطرية المثبتة لنزع الميثيل كنتيجة لترافق جيئات كثيرة ذات التأثيرات البسيطة، فضلاً عن كونها ترجع إلى الجيئات الرئيسية أو الجيئات الرئيسية مجتمعة مع المُعَدِّلات الجيئية.

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. مثل ذلك، استخدام أميد حمض الكربوكسيليك لمكافحة البياض الزيغي على العنب، وهو مبيد فطري ضيق المدى جداً، ومن ثم فإنه لن يؤثر على أي مرض آخر على العنب ولن يمارس أي ضغط انتخابي على غير البياض الزيغي. وعلى النقيض من ذلك، عندما استخدمت المبيدات الفطرية DMI (مثبط نزع الميثيل) أو Qo1 (مثبطات خارجية للكونيون) 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 الثانية 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 متغيرة الزيجوت (متغيرة الآلائل) 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 متغيرة الزيجوت (متغيرة الآلائل) التي تحمل صفة المقاومة غير تامة السيادة (RS) فإنها سوف تتجو وتبقي على قيد الحياة. وبالإضافة إلى ذلك، فإن هذه الجرعات المنخفضة بشكل مفرط سوف تؤثر على چين المقاومة بحيث تجعله سائداً من الناحية الوظيفية، وبالتالي فإن المقاومة قد تتطور على نحو سريع. ومع ذلك، فإن محاولة القضاء على الأفراد متغيرة الزيجوت (متغيرة الآلائل) يكون فعالاً إلى حد بعيد إذا لم تكن عشائر الآفة كبيرة بشكل مفرط، وتكون 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 الزيجوت (متماثلة الآلائل) لصفة المقاومة وتصبح شحيلة في العشيرة، علاوة على أنها من الأرجح أن تعاني من انخفاض اللياقة بسبب چينات 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 الزيجوت (متماثلة الآلائل) 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 تعد عالماً 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 المواقع 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 متغيرة الزيجوت (متغيرة الآلائل) لصفة المقاومة سوف يتم انتخابها في عشيرة الآفة وتتطور المقاومة.

جهازية المبيد

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

ويعتمد تأثير جهازية المبيد على نوعية المركب محل الاهتمام. وتنتمي المبيدات الحشرية الجهازية بأنها توفر تجانساً في جرعة المبيد المستخدم ضد الأفة، 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 الأفة، 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 چينات التي تحمل صفة الحساسية لنسلها الناتج في عشيرة الأفة. 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 معاملتها بطريقة 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 للأفة.

وهناك إغراء 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 تتصح تحديداً بعدم اللجوء إلى مثل هذه التطبيقات العلاجية بسبب الضغط الانتخابي المتزايد الذي قد تحدثه مثل هذه المبيدات.

تكرار المعاملات

ينبغي أن يقتصر تكرار المعاملات بالمبيدات على العدد الضروري منها وبما يكفي لحماية المحصول أو مكافحة الأفة، حيث أن المعاملات الغير ضرورية تزيد من الضغط الانتخابي في عشيرة الأفة. 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 متغيرة الزيجوت (متغيرة الألائل) بصفتها مقاومة من الناحية الوظيفية (RS) وبالتالي يتم انتخابها جنباً إلى جنب مع الأفراد مقاومة متماثلة الزيجوت (متماثلة الألائل) لصفة المقاومة (RR). وهناك حالات تحققت فيها عمليات مكافحة مذهلة للآفات (بشكل مؤقت) مع تكرار المعاملات، ولكن أعقابها حدوث مشاكل غاية في الخطورة بشأن تطور المقاومة. وفي الأحوال التي تتحرك فيها أفراد الأفة 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 الأفة.

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 المختصين في مجال المحاصيل فيأخذ المعاملات التي تتم عندما تكون الآفة تحت مستوى الآفة تحت مستوى الحد الاقتصادي في اعتبارهم عند وضع برامج مكافحة الآفات.

أطوار الآفة المعاملة

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 التأثر بالمبيدات (مثلاً ذلك)، في حشرات رتبة حرشفيات الأجنحة تكون اليرقات حديثة الفقس أو يرقان 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 ثبتت 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 المعاملة

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 احتلال وبالتالي تخفيض لجينات المقاومة نتيجة تزاوج الأفراد الحساسة أو احتلال 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 (الجراثيم) والبذور ومفصليات الأرجل، التي تحمل 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 معاملة تجاهه المبيد في المنطقة المعاملة، فإن حدوث عمليات الانتخاب ستكون قليلة. ومع ذلك، إذا كان هناك تدفق متواصل لأفراد من الآفة الغير معاملة 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 چينات 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 انهايار بشكل سريع. عموماً، فإن كلًا من ثبات المبيد وتكرار المعاملة يرتبطان مع بعضهما البعض. حيث تمثل مبيدات الآفات ذات المتبقيات قصيرة الأمد لأن تحدث ضغط انتخابي أقل وبالتالي سيكون تطور المقاومة بشكل أقل أيضًا. 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 المحسولي

إذا كانت المحاصيل المزروعة في نفس المنطقة تفصلها فترات زمنية (مثل الفترات التي تترك فيها الأرض بور بين الدورات المحسولية المتعاقبة) أو إذا كانت مزروعة في مناطق جغرافية مستقلة أو ذات سمات خاصة، فإن مخاطر تطور المقاومة تكون أقل. ومن ناحية أخرى، إذا كان يتم تطبيق النظام المحسولي 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 معاملة) التي يمكن أن تأوي إليها الأفراد الحساسة من عشائر الآفة تكون أصغر.

تكتيكات مكافحة الآفة

إن استخدام 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 الانتقامية (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 چينات المقاومة في العشيرة، إذا لم تكن المقاومة أصبحت سائدة بعد.

4-2 مخاطر مقاومة فعل المبيدات الفطرية

تعتمد مخاطر المقاومة للمبيدات الفطرية إلى حد كبير على المجموعة الكيميائية التي يتبعها المبيد الفطري، وعلى المسبب المرضي (الممرض)، 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.

المقاومة	مخاطر المجموعة الكيميائية أو المركب
عالية	بنزيميدازولات Benzimidazoles ، ديكربوكسي ميدات dicarboximides ، فينيل أميدات phenylamides ، مشابهات ستربولورين analogues (مثل، ميثوكسي اكريلات oximino acetates ، أوكسى أمينو أسيتات methoxyacrylates)
متوسطة	- أمينو-بيرimidين 2-Amino-pyrimidines (بما فيها المورفولينات morpholines) ، أليلينوبيرimidينات anilinopyrimidines ، هيدروكربونات عطرية aromatic hydrocarbons ، آزولات azoles ، كاربوكسانيليدات carboxanilides ، أميدات حمض الكربوكسيليك carboxylic acid amides ، كاربوروبياميد carpropamid ، سيموكسانيل cymoxanil ، فنهكساميد fenhexamid ، كاسوجامايسين kasugamycin ، فينيل بيرولات phenylpyrroles ، فسفوروثيولات phosphorothiolates ، كوبوكسيفين quinoxyyfen
منخفضة	- كلوروثالونيل Chlorothalonil ، نحاس coppers ، داي ثيوكربامات dithiocarbamates ، فوسيتيل Alfosetyl-Al pyroquilon ، فثالimidates phthalimides ، كبريت suplhurs ، تراي سايكلازول tricyclazole

المصدر: [FRAC (2011) Brent & Hollomon]، لجنة مواجهة المقاومة للمبيدات الفطرية

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

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

المعرض الفطري	المحصول
<i>Phytophthora infestans</i> (يسبب لفحة البطاطس المتأخرة)	البطاطس (فينيل أميد فقط)
<i>Plasmopara viticola</i> (يسبب مرض البياض الزغبي)	العنب
<i>Erysiphe gaminis</i> (يسبب مرض البياض الدقيق)	القمح والشعير
<i>Uncinula necator</i> (يسبب مرض البياض الدقيق)	العنب
<i>Sphaerotheca spp.</i> (يسبب مرض البياض الدقيق)	محاصيل متنوعة
<i>Mycosphaerella fijiesis</i> (يسبب مرض التبقع الأسود على الأوراق)	الموز
<i>Pyricularia oryzae</i> (يسبب لفحة الأرز)	الأرز
<i>Gibberella fujikuroi</i> (يسبب 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 يتعلّق بالمبيدات الفطرية الجديدة التي لا تدرج 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
		الخصائص المتأصلة للمبيد الفطري
	إذا كان المبيد الفطري يقع ضمن مجموعة لها تاريخ مع مشاكل المقاومة.	مجموعة المبيد الفطري
	إذا كان الموقع المستهدف بمفرده، أو إذا كان الموقع معروف بمقداره على التغير إلى الشكل الذي لا يتأثر أو يكون تأثيره على نحو أقل من قبل مبيدات فطرية أخرى.	الموقع المستهدف
	إذا وجدت سلالات من الممرض المستهدف مقاومة للمبيدات الفطرية المتاحة، والتي يمكنها أيضاً مقاومة المبيد الفطري الجديد.	المقاومة المشتركة
	إذا كانت المعاملة بالمواد المُطفرة يجعل الفطر المستهدف ينتج سلالة مقاومة (طافر لانقة).	الاستجابة للعوامل المُطفرة
	إذا كان التهجين الجنسي يجعل الفطر المستهدف ينتج سلالة مقاومة لانقة بها تركيبات جينية جديدة.	الاستجابة لتجارب التهجين الجنسي
	إذا كان الممرض المستهدف للمبيد الفطري على نحو متكرر سواء في المختبر أو في القطع التجريبية يتسبب في ظهور سلالة مقاومة لانقة في مستوى يمكن اكتشافها.	الاستجابة للمعاملات المتكررة
		الخصائص المتأصلة للممرض النباتي
	إذا كان الممرض المستهدف يتكرر بسرعة، وبالتالي يحتاج إلى تكرار المعاملات بالمبيد الفطري.	فترة الجيل
	إذا كان تبوغ (تكوين الجراثيم) الممرض بشكل وافر.	مقدار التبوغ
	إذا كانت الأبواغ تنتشر بسرعة وسهولة بين النباتات والمحاصيل والمناطق.	انتشار الأبواغ (الجراثيم)
	إذا كان الممرض أحادي الصبغيات (الكروموسومات)، هابلويود، أو له تركيب چيني يسمح بإحداث طفرات مقاومة، أو ينطوي على تتبع إيجاري للتكرار الجنسي واللاجنسي خلال دورة المرض، أو يظهر علامات أخرى للتكيف الوراثي.	التكيفية الوراثية
	إذا كان الممرض له بيانات مدونة بالسجلات بشأن تطور المقاومة لفعل المبيدات الفطرية (من أي نوع).	تاريخ المقاومة
		ظروف الاستخدام (يتم تحديدها محلياً)
	إذا كان المبيد الفطري سيتكرر استخدامه، أو إذا كان المبيد الفطري (أو المبيدات الفطرية ذات الصلة به) بشأن المقاومة المشتركة) سيستخدم بشكل مستمر وأو على نطاق واسع على المحاصيل في نفس المنطقة.	استخدام المبيد الفطري
	عندما لا تُستخدم أنواع أخرى من المبيدات الفطرية (المخالفات أو التناوب بين المركبات المتنوعة)، أو عند عدم اتخاذ تدابير أخرى غير كيماوية للسيطرة على المرض (مثلاً ذلك، الدورة الزراعية، أصناف مقاومة، الاحتياطات الصحية).	التدابير المكملة
	إذا وجد الممرض بكثافة شديدة وأو كان يغطي مساحات شاسعة وأو يتكرر بسرعة على مدى فترات زمنية طويلة (فترة الجيل تكون قصيرة).	مدى حدوث الممرض (وطأة المرض)
	إذا كانت مستعمرات الممرض المستهدف منعزلة وأو لا تنتقل مثل ذلك، كما في نباتات الدفنيات (الصوب الزجاجية).	انعزال الممرض
		[المصدر: (Brent & Holloman 2007a)]

ويوضح شكل (3) كيف يمكن تصنيف مخاطر المقاومة المتأصلة للمبيدات فطرية وممرضات معينة. وهذا التصنيف يُعد بمثابة تقييم 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 تحافظ 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 الطرفات.

شكل-3 مخاطر تطور المقاومة لتركيبيات 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 رقية 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 = متوسطة ، 9 = عالية				
9	6	3	3	عالية Benzimidazoles Qols Phenylamides Dicarboximides
6	4	2	2	متوسطة Carboxanilides DMIs Phenylpyrroles Phosphorothiolates Anilinopyrimidines MBI-Ds
1.5	1	0.5	0.5*	منخفضة Coppers، نحاس، Sulfur، كبريت Chlorothalonil Dithiocarbamates Phthalimides MBI-Rs Probenazole
3	2	1		مخاطر مبيد الفطر
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 Eyespot <i>Mycosphaerella</i> <i>Graminicola</i> <i>Rhyncosporium</i>	منخفضة <i>Rhizoctonia</i> صدأ الترية Smuts التفحيم Bunts والتفحيم النتن		مخاطر الممرض

* النقاط المنخفضة المحرزة تعكس عمليات تسجيل لفترات طويلة الأمد "بأنه لا توجد مقاومة" في مجموعة المخاطر المنخفضة.

**يعتبر البعض أن فطر عفن البطاطس *Phytophthora infestans* 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 "بِمُعَدِّلاتِ المخاطر" لكنها في الواقع 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 المرض 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 (المُبيّنة على بطاقة بيانات عبوة المنتج) قد تزيد من الضغط الانتخابي للمقاومة؛
- اتساع نطاق مجموع مستعمرة المرض المترعرع لتأثير المبيد الفطري – إذا كان حدوث المرض بداخل موانع محددة 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 وتكون سلالات مقاومة؛
- الاعتماد على المبيدات الفطرية فقط، إلى جانب التقصير في استخدام الإدارة المتكاملة للسيطرة على المرض – غالباً ما تؤدي إلى زيادة الضغط الانتخابي وتكون المقاومة تجاه المبيد الفطري؛
- انزال مجموع مستعمرات المرض (كما في الدفيئات أو الصوب الزراعية ، انفاق البوليفين الزراعية، أو المناطق الزراعية المعزولة)، تمنع إعادة دخول السلالات الحساسة منه - مما يكون باعثاً على تطور سلالات المرض المقاومة.

5-2 مخاطر مقاومة فعل مبيدات الحشائش

تطورت المقاومة لفعل مبيدات الحشائش بسرعة أقل من المقاومة لمبيدات 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) لمبيدات الحشائش؛
- استخدام طرق المكافحة غير الكيميائية للحشائش جنباً إلى جنب مع المبيدات الكيميائية.

وفي كثير من الحالات تبدو الحشائش بأنها لا تعاني من أي "تكلفة للإيادة" (أي فقدانها بعض الخصائص الأخرى) مقابل چينات المقاومة واكتسابها للإيادة لمقاومة مبيدات الحشائش. وعلى ذلك، فإن تكرار هذه الچينات 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.

وتتزايـد حالياً المقاومة لمبيدات الحشائش بمعدل أسرع. 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:

- **تغير في الموقع المستهدف:** يرجع ذلك إلى حدوث تغيير في تركيب الموقع المستهدف، ومن ثم لن يعد يستطيع مبيد الحشائش أن يرتبط بموقعه الطبيعي الذي يؤثر فيه، مما يسمح للعشب أن ينجو ويظل باق على قيد الحياة بعد المعاملة بالمبيد؛
- زراعة تمثيل (استقلاب) مبيد الحشائش: يستطيع العشب المقاوم أن يهدى مبيد الحشائش ويحوله إلى مواد غير تسممية 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 كلاً من المحاصيل ومبيدات الحشائش وبعد 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 چينات المقاومة في الحشائش المعاملة؛
- 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.

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

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

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 وفقاً لمواضع التأثير، بواسطة الفريق التقني المتخصص للجنة المعنية بمحابهة 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 (FAO) (2008)]

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

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

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

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

6-2 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	العوامل المتعلقة بالحشرة	التأثير على تطور المقاومة
دور الحياة قصيرة	دور الحياة قصيرة	تنقلي عشيرة الآفة الحشرية معاملات كبيرة أو لمرات متعددة لكل محصول وكل موسم مما قد يؤدي إلى تقصير الفترة اللازمة لحدوث المقاومة.
الإضافة شديدة/مستويات عشائر الآفة	الإضافة شديدة/مستويات عشائر الآفة	حتى مع مستويات المكافحة العالية قد يكون هناك أعداد كبيرة نسبياً من الأفراد المنتجية التي يقيت على قيد الحياة، مما يؤدي إلى تطور المقاومة على نحو أسرع.
أعداد النسل الناتج (الصغار) من كل أنثى كبيرة	أعداد النسل الناتج (الصغار) من كل أنثى كبيرة	مما يسمح لأعداد قليلة نسبياً من الأفراد المنتجية التي يقيت على قيد الحياة وتحمل چين (أو جينات) المقاومة أن تعيّد تكوين عشائر كبيرة من تلك الأفراد المقاومة.
مدى العوائل المضيفة واسع	مدى العوائل المضيفة واسع	ممكن أن يتم انتخاب الحشرة على عدة محاصيل في السنة.
العوامل التشغيلية		
تطبيق معدل استخدام للمبيد أقل مما هو مذكور على بطاقة العبوة	تطبيق معدل استخدام للمبيد أقل مما هو مذكور على بطاقة العبوة	يؤدي إلى انتخاب أفراد متغايرة الزيجوت (متغيرة الآلائل)، مما يزيد من تكرار چينات المقاومة في عشائر الآفة.
التغطية بالمبيد غير كافية	التغطية بالمبيد غير كافية	وهذا يماطل ما يحدث في حالة تطبيق معدل استخدام للمبيد منخفض، حيث يعمل على زيادة الأفراد متغايرة الزيجوت (متغيرة الآلائل) التي تقى على قيد الحياة بعد المعاملات، وبالتالي حدوث تكرار لجينات المقاومة في مجموعة الآفة.
توقيت التطبيق غير مناسب	توقيت التطبيق غير مناسب	قد يؤدي استهداف أطوار الآفة الأول حساسية أو العشائر التي تزداد بأعداد ضخمة إلى انتخاب الأفراد متغايرة الزيجوت (متغيرة الآلائل) 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	استخدام مبيدات تتبع مجموعة كيميائية واحدة	يحدث الانتخاب على مستوى عالٍ، أي يزيد من الصغط الانتخابي للمقاومة.
الاعتماد التام على المكافحة الكيميائية	الاعتماد التام على المكافحة الكيميائية	ضغط انتخابي عالي لمقاومة المبيدات؛ يقتل المفترسات والطفيليات وبالتالي يسمح بزيادة تكرار چينات المقاومة في عشائر الآفة.
التركيز على هدف واحد من الآفات والمحاصيل	التركيز على هدف واحد من الآفات والمحاصيل	يعمل على تجاهل الحشرات الموجودة بمستويات أقل من الحد الحرجة وأيضاً معاملة المحاصيل الأخرى، مما يزيد من انتخاب المقاومة في الأنواع الغير مستهدفة.
استخدام المركبات ذات الأثر المتبقّي طويل الأمد	استخدام المركبات ذات الأثر المتبقّي طويل الأمد	يعمل على انهيار المركب وبسمح ببقاء الأفراد متغايرة الزيجوت (متغيرة الآلائل) وبالتالي تزيد من تكرار چينات المقاومة.
استخدام المنتجات واسعة المدى في التأثير	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 محاجة المقاومة للمبيدات الحشرية (IRAC) (2011)، Whalon et al, (2008)، مجلس البحوث الوطني (1986)]

وفي كثير من الأحوال تقوم بعض أنواع الحشرات بتكوين وتطوير المقاومة أكثر من غيرها. ويتبين 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 تقريراً 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 عملية 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 الحيوطة والحذر عند معالمة أنواع أخرى 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 مجال الزراعة والصحة العامة. يستند تقدير المرتبة على عدد المبيدات الحشرية والحشرات المقاومة لها، وتبدأ من 1) المقاومة لأكبر عدد من المركبات (إلى 20).

الرتبة	الفصيلة	النوع	المرتبة	العائل
الأكاروسات	Acaridae	اكاروس الأباسال <i>Rhizoglyphus robini</i>	19	نباتات الزينة ، البصل المخزون
الأكاروسات	Ixidae	قراد الماشية الجنوبي <i>Boophilus microplus</i>	6	الماشية
الأكاروسات	Tetranychidae	الحلم الأحمر الأوروبي <i>Panonychus ulmi</i>	9	أشجار الفاكهة
الأكاروسات	Tetranychidae	العنكبوت الأحمر ذو البقعتين <i>Tetranychus urticae</i>	1	القطن، الأزهار، الفاكهة ، الخضروات
غمديّة الأجنحة	Chrysomelidae	خفصاء كولورادو <i>Leptinotarsa decemlineata</i>	4	البطاطس، البازنجان ، الطماطم
غمديّة الأجنحة	Tenebrionidae	خفصاء الدقيق الضوئي <i>Tribolium castaneum</i>	17	الحبوب المخزونة ، الغول السوداني، السورجم (الذرة الرفيعة)
مستقيمات الأجنحة	Blattellidae	الصرصور الألماني <i>Blatella germanica</i>	7	المناطق الحضرية
ذات الجناحين	Calliphoridae	ذبابة الفنم الاسترالي <i>Lucilia cuprina</i>	18	الماشية، والأغنام
ذات الجناحين	Culicidae	بعوضة الملاريا الأمريكية <i>Anopheles albimanus</i>	20	الإنسان
ذات الجناحين	Culicidae	البعوض المنزلية الشائعة <i>Culex pipiens pipiens</i>	11	الإنسان
ذات الجناحين	Culicidae	البعوضة المنزلية البنية <i>Culex quinquefasciatus</i>	15	الإنسان
ذات الجناحين	Muscidae	الذباب المنزلي <i>Musca domestica</i>	5	مناطق الحضر
نصفية الأجنحة (بق النبات)	Aleyrodidae	ذبابة الطماطم البيضاء ذبابة القطن البيضاء <i>Bemisia tabaci</i>	8	الدفيئات (الصوب الزراعية)، القطن، القرعيات ، بياتات الفصيلة الصليبية كالكرنب، الخضروات

الرتبة	الفصيلة	النوع	المرتبة	العائل
نصفية الأجنحة (بق النبات)	Aphididae	من القطن <i>Aphis gossypii</i>	10	القطن ، الخضروات
نصفية الأجنحة (بق النبات)	Aphididae	من الخوخ الأخضر <i>Myzus persicae</i>	3	فاكهه ، خضروات ، اشجار ، الحبوب
نصفية الأجنحة (بق النبات)	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 النسغ <i>Heliothis virescens</i>	14	الحمص ، القطن ، الذرة ، الطماطم
حرشفية الأجنحة	الفراشات الليلية Noctuidae	دودة ورق القطن <i>Spodoptera littoralis</i>	16	البرسيم الحجاري ، 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)]

7-2 مخاطر مقاومة فعل مبيدات القوارض (القواعد)

تشابه 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 آداء مبيد القوارض، هما:

- مقدرة بعض القوارض على تعلم كيفية تجنب الطعوم المعاملة بالمبيد والمصائد، والتي تعرف بما يسمى "الخجل من الطعوم"، أو تعلم 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 مجموعة 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 فيها 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 چين VKOR الذي يؤثر على تمثيل فيتامين K. كما ترتبط أيضاً زيادة فقد السمية بواسطة السيتوکروم بي-450 بظهور المقاومة. وكما هو الحال في الآفات مفصلي الأرجل، فإن المقاومة في القوارض هي أيضاً تتأثر بالصفات التنايسية وخصائص بالمبيدات 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 كال فأر النرويجي *R. norvegicus*، وأ فأر المنزل ، *R. rattus* ، والأبوسوم الرمادي ذو الذيل القصير *M. domesticus* *Mus musculus*

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

3- منع وإدارة مقاومة الآفات لفعل المبيدات

3-1 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 چينات المقاومة في مجموع عشيرة الآفة. وينبغي وضع التكتيكات على النحو الذي يضمن الحفاظ على زيادة تكرار چينات الحساسة وقلة تكرار چينات المقاومة في عشيرة الآفة عن طريق خفض الضغط الانتخابي، في الوقت الذي يجب فيه تحقيق المستوى المطلوب لمكافحة الآفة. ومن المرجح أن تختلف هذه التكتيكات لكل مجموعة من الآفات، إلا أن هناك عدداً من المبادئ العامة تطبق على جميع خطط إدارة المقاومة للمبيدات.

3-2 مبادئ عامة

إدارة السيطرة على مقاومة فعل المبيدات كجزء من الإدارة المتكاملة لمكافحة الآفات يوصى بشدة أن توضع خطة إدارة السيطرة على مقاومة الآفات لفعل المبيدات في إطار نهج شامل للإدارة المتكاملة لمكافحة آفة معينة ونظام محسولي 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 چين (أو چينات) 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 مكثفة للغاية، فإن چين (أو چينات) المقاومة قد تترافق تدريجياً في عشيرة الآفة.

التركيز على الآفة

من المهم عند وضع خطة إدارة السيطرة على مقاومة 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 موضوع 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، فينبع 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 المحسولي التام (الدورات الزراعية الكاملة).

وضع العوائل المحسولية المجاورة في الاعتبار

لإدارة السيطرة على ظاهرة المقاومة في الحشرات، فإنه ينبغي وبصفة خاصة وضع العوائل النباتية البديلة للافة التي تقع في المناطق المجاورة للعوازل المحسولية الأساسية في الاعتبار عند إجراء المعاملة بالمبيدات. ومن المحتمل أن يوجد كثير من نفس الآفات الحشرية على محاصيل أخرى من تلك التي تنمو على مقربة من العوائل المحسولية الأساسية أو التي يتم زراعتها في التعاقب المحسولي، 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 للأخر. فإذا تم تطبيق خمس معاملات بمبيد 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 سنوية. 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

تمشياً 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 للافات وعوامل المكافحة البيولوجية كالمفترسات والطفيليات، وأصناف المحاصيل المقاومة، وتوقيت الزراعة المناسب للحد من مخاطر الإصابة، وتطبيق نظام التعاقب المحسولي (الدورة الزراعية)، والعمليات الزراعية الأخرى التي من شأنها أن تتدخل في دورات تكاثر الآفات، والعناية بالمارسات 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 المجاميع 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

بعضها) 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 مخالطي 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 آيات 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 م الحصول ما خلال العام، بما في ذلك المعاملات باستخدام المركبات المختلفة وأطوار حياة الآفة التي تمت ضدتها 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 المرض النباتي التي يتم معاملتها، كلما زادت سرعة فقد الحساسية وزادت صفة المقاومة مالم تُتخذ التدابير التي من شأنها أن تخفف من حدة انتخاب وتكرار چينات 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 تتجو بعض اليرقات متغايرة الزيجوت (متغيرة 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 عومنت 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 الزيجوت (RS) التي نجت من معاملة التربة عندما يتم معاملتها في طور الحشرة الكاملة. إلا أنه مع مرور الوقت سوف تترَّاكِم 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 وقته فقط. والاستمرار في تطبيق معدلات استخدام المبيد أقل مما هو وارد ببطاقة بيانات المبيد سوف يؤدي إلى زيادة في انتخاب الأفراد المقاومة متغايرة الزيجوت (متغيرة الألائل) (RS) ومتماطلة الزيجوت (متماطلة الألائل) لصفة المقاومة (RR)، وهذا سوف يؤدي بدوره إلى تطور وتكوين عشيرة مقاومة تماماً. بينما استخدام المعدلات الصحيحة من

جرعات المبيد وفقاً لبطاقة البيانات الخاصة به سوف يعمل على إزالة الأفراد المقاومة متغيرة الزيجوت (متغيرة الألائل) من مجموع عشيرة الآفة وبطء بشكل كبير من تكوين عشيرة مقاومة للآفة.

إشراك أصحاب المصلحة في استراتيجيات إدارة مواجهة 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، وشركاء ووزارتين مبيدات الآفات، ووزارة الزراعة ووحدات 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 مقاومة للمبيدات الفطرية، فإن التعاون على المستويين المحلي والإقليمي يُعد من الأمور الأساسية لنجاح وتطوير وتنفيذ مثل هذه الخطط.

تقييم وتنقية خطة إدارة السيطرة على مقاومة فعل المبيدات

تُعد ظاهرة تكوين المقاومة عملية ديناميكية فهي في حراك وتتطور على نحو مستمر؛ وعلى ذلك، ينبغي أن تنسق خطة إدارة السيطرة على مقاومة فعل المبيدات (RMP) بالمرونة. ولكي تظل هذه الخطط فعالة ينبغي إعادة تقييمها وتهيئتها 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 للأفات.

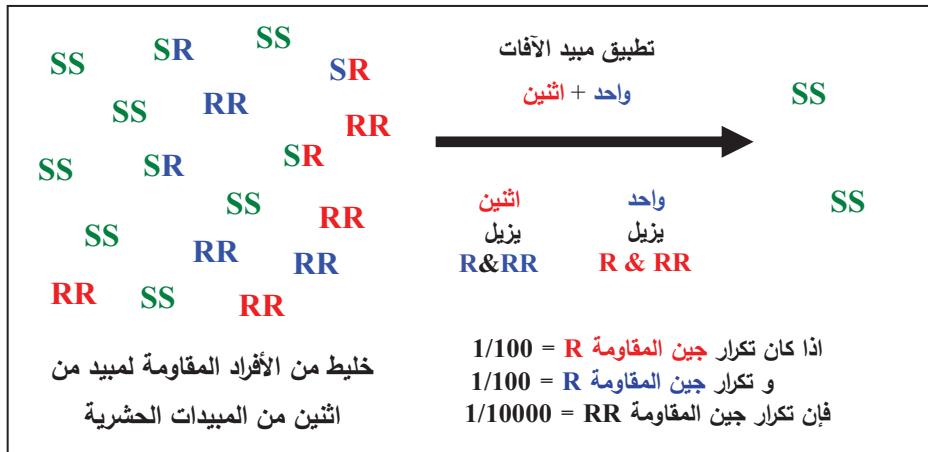
3-3 تكتيكات إدارة السيطرة على مقاومة الآفات لفعل المبيدات – جميع أنواع مبيدات الآفات مخاليط مبيدات الآفات التي لديها طرق تأثير مختلفة على الآفة أو تجاهه آليات مختلفة لمقاومتها من قبل الآفة

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

أثبتت التجارب أن منتجات المخاليط سابقة التجهيز وبعض مخاليط 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 المخاليط بمثابة جزء من خطة إدارة مقاومة الآفات لفعل المبيدات. وقد أعددت المخاليط الناجحة أو منتجات المخاليط سابقة التجهيز لحالات محددة ولكن بعد مراجعة ودراسة مئانية 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 المتضاغفة أو المتعددة (وجود عدة آليات مختلفة لمقاومة فعل المبيد في ذات الوقت) في أفراد عشيرة الآفة.

وتحمي منتجات مخاليط المبيدات سابقة التجهيز بأن إدارة السيطرة على المقاومة تتم من قبل الجهات المصنعة. كما توفر المخاليط التي تتم في خزان المبيدات مرونة أكثر للمستخدم، إلا أنها تكون فعالة فقط إذا كان المستخدم يمتلك القدرة على تجهيزها بشكل صحيح. عادة ما يحتوي مخلوط المبيدات الفطرية على مبيد فطري ذو مخاطر عالية (من حيث تطور المقاومة) مع مبيد فطري آخر ذو مخاطر قليلة. ويسمى المكون ذو المخاطر القليلة في السيطرة على مقاومة فعل المبيد ذو المخاطر العالية في المخلوط. ومع ذلك، فإن الإعداد المتأثر للمخاليط التي تحتوي على مكونين مما لها مخاطر عالية يمكن أن تكون فعالة للغاية إذا تم استخدامها بطريقة صحيحة. ولا يُنصح باستخدام مخاليط المبيدات الحشرية خصيصاً لهذا الغرض؛ حيث أن الإعداد غير الصحيح لمثل هذه المخاليط قد لا يعمل على تأخير تطور المقاومة، بل على النقيض قد يؤدي إلى تفاقمها.

ويبيّن شكل (4) كيف يؤثر استخدام مخلوط من المبيدات الحشرية على مجموعة عشيرة الحشرات التي تتضمن أفراد مقاومة (RR) أو مقاومة جزئياً (RS) لواحد من مبيدات في مخلوط من المبيدات الحشرية. فالأفراد التي لم يتم قتلها بأحد مكونات المخلوط، فإنها سوف تُقتل بالمكون الآخر. ويشير هذا إلى أن الأفراد التي تحمل العدد RRRR من چينات المقاومة قليلة جداً، كما أنها قد تنجو أيضاً وتبقى على قيد الحياة.



شكل - 4 يوضح أثر استخدام مخاليط المبيدات للحد من تراكم چينات المقاومة في مجموعة عشيرة الآفة.

ينبغي استخدام مخاليط مبيدات الآفات بعناية، ولا يوصى باستخدامها مالم يكن قد تم بحثها بدقة وأنها تفي بالمتطلبات التالية:

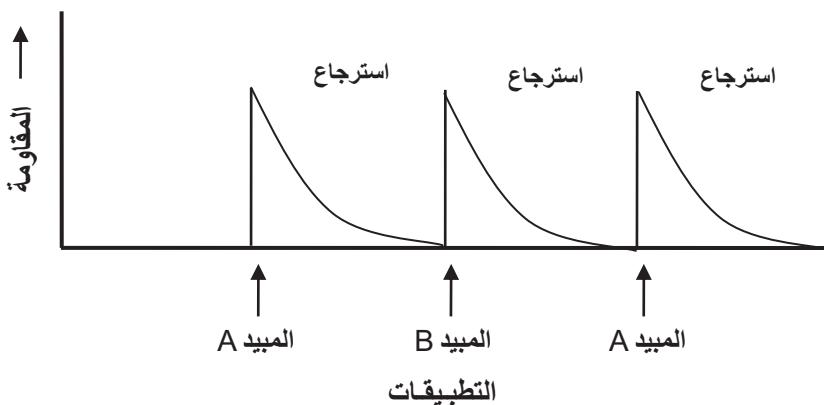
- أن لا تكون مكونات المخلوط ذات صلة من الناحية الكيميائية مما يكون باعثاً على حدوث مقاومة مشتركة، وأن تكون أفراد الآفة التي تحمل صفة المقاومة لأحد المكونات أو للأخر نادرة، وكذلك تكون الأفراد المقاومة لكلا المكونين في المخلوط نادرة للغاية؛

- يتم إعداد الخليط بالشكل الذي يعمل على تطبيق كلا المبيدات في المخلوط وفقاً لمعدلات الاستخدام الخاصة بكل منها 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 متغيرة الزيجوت (RS).
- أن تكون فترة نشاط متبقيات كلا المركبين في المخلوط متماثلة على وجه التقرير، وإنما يكون ذلك الذي يكون نشاطه أقصر سوف ينها، فيما تبدأ عمليات الانتخاب للمكون الآخر ذو المتبقيات الأطول نشاطاً وظهور المقاومة تجاهه.

تناوب أو تبادل استخدام مبيدات الآفات

يُعد تناوب استخدام مبيدات الآفات تكتيكياً أو أسلوباً آخر للسيطرة على تطور ظاهرة المقاومة. ويشير هذا التكتيك إلى (1) أن أفراد الآفة المقاومة لكلا المبيدات 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 تتحسر في حالة غياب المبيد بسبب عدم الاستقرار النسبي لآليات المقاومة. وحتى يكون التكتيك فعالاً لابد 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 المبيدات 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 بقدر الكافي لاستعادة أو استرجاع أفراد عشيرة 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 الحشرى عند استخدامه في برنامج إدارة السيطرة على مقاومة الآفة لتأثيره.

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

برنامـج مكافحة داء كلايـبات الذـبـ، العمـى النـهـري *Onchocerciasis* في غـرب أـفـرـيقـيا

في غـرب أـفـرـيقـيا، أـشرـفت منـظـمة الصـحة العـالـمـية (WHO) على إـدـارـة برنـامـج مـكـافـحة دـاء كـلـايـبات الذـبـ، العمـى النـهـري، (OCP) الذي استـنـدـ بشـكـل كـلـي تقـرـيبـاً عـلـى تـطـبـيق معـالـمـات أـسـبـوعـيـة بمـيـدـ لـلـيرـقـاتـ فـيـ الـأـنـهـارـ لـقـتـلـ يـرـقـاتـ الذـبـابـ السـوـدـاءـ *Simulium* النـاقـلةـ لـلـمـرـضـ. وـقـدـ اـسـتـمـرـتـ عمـلـيـاتـ الرـشـ علىـ مـجـمـوعـ عـشـيرـةـ الـآـفـةـ النـاقـلةـ لـلـمـرـضـ. وـبـعـدـ موـاجـهـةـ سـرـيـعـةـ لـمـشاـكـلـ خـطـيرـةـ نـتـيـجـةـ مـقاـوـمـةـ فـعـلـ مـيـدـ التـيـمـيفـوسـ، وـهـوـ مـيـدـ الـوـحـيدـ الـذـيـ اـسـتـخـدـمـ فـيـ الـمـراـحلـ الـمـبـكـرـةـ مـنـ الـبـرـنـامـجـ، تمـ تـعـزـيزـ عـلـىـ مـقاـوـمـةـ الـتـيـ ظـهـرـتـ، حـيـثـ حلـ ذـلـكـ مـخـطـطـ مـحـلـ الـاسـتـخـدـمـ الـمـسـتـمـرـ لـمـيـدـ وـاحـدـ مـثـلـ الـمـيـدـ الـفـسـفـورـيـ تـيـمـيفـوسـ وـتمـ تـنـاوـبـ اـسـتـخـدـمـ مـنـتجـاتـ لـيـسـ ذاتـ صـلـةـ كـيـمـيـائـيـةـ فـيـ نـظـامـ مـخـطـطـ مـسـبـقاـ. فـقـدـ اـسـتـخـدـمـتـ الـمـرـكـبـاتـ الـفـسـفـورـيـةـ الـعـضـوـيـةـ لـفـرـقـاتـ مـحـدـودـةـ إـلـىـ جـانـبـ مـيـدـاتـ الـيـرـقـاتـ الـمـيـكـروـبـيـةـ باـسـيلـسـ ثـورـنـجـينـسـيسـ إـسـرـيلـينـسـيسـ (*Bti*)ـ،ـ وـمـيـدـاتـ الـبـيـرـوـثـرـوـيـدـاتـ وـالـكـارـبـامـاتـ.ـ وـاـسـتـخـدـمـتـ مـيـدـاتـ الـيـرـقـاتـ الـمـيـكـروـبـيـةـ *Bti*ـ وـكـيـمـيـائـيـةـ بـشـكـلـ اـسـتـرـاتـيـجيـ استـنـدـ عـلـىـ حـالـةـ مـقاـوـمـةـ وـاتـجـاهـهاـ،ـ وـعـلـىـ دـيـنـامـيـكـيـةـ عـشـائـرـ الـآـفـةـ النـاقـلةـ لـلـمـرـضـ،ـ وـالـتـأـثـيرـ الـبـيـئـيـ،ـ وـالـتـكـلـفـةـ،ـ وـالـعـوـاـمـلـ الـلـوـجـيـسـيـةـ.

وـظـلتـ هـذـهـ اـسـتـرـاتـيـجـيـةـ تـطـبـقـ بـنـجـاحـ عـلـىـ مـدارـ 17ـ عـامـاـ مـنـذـ تـنـفـيـذـهـ.ـ ماـ كـانـ باـعـثـاـ عـلـىـ تـرـاجـعـ مـقاـوـمـةـ إـلـىـ الـدـرـجـةـ التـيـ كـانـ مـنـ المـمـكـنـ معـهاـ إـعادـةـ اـسـتـخـدـمـ مـيـدـ التـيـمـيفـوسـ ضـمـنـ مـخـطـطـ تـنـاوـبـ اـسـتـخـدـمـ الـمـيـدـاتـ،ـ وـالـتـيـ لـمـ تـحدـثـ إـطـلـاقـاـ عـنـدـهـاـ أـيـضاـ تـكـوـينـ لـلـمـقاـوـمـةـ فـيـ الـمـنـاطـقـ التـيـ لـمـ يـسـبـقـ وـأـنـ وـجـدـتـ بـهـاـ.ـ كـمـاـ لـمـ يـحـدـثـ وـأـنـ تـطـوـرـتـ مـقاـوـمـةـ تـجـاهـ أـيـ مـيـدـاتـ الـحـشـرـيـةـ الـأـخـرـىـ الـمـسـتـخـدـمـةـ بـالـرـغـمـ مـنـ توـافـرـ إـمـكـانـيـاتـ حـدـوثـ الـاـنـتـخـابـ فـيـ عـشـائـرـ الـذـبـابـ الـأـسـوـدـ تـجـاهـ هـذـهـ مـيـدـاتـ.ـ وـقـدـ سـمـحـ الـاـسـتـخـدـمـ الـمـوـسـعـ لـلـمـيـدـ الـمـيـكـروـبـيـ باـسـيلـسـ *Bti*ـ لـيـرـقـاتـ الـذـبـابـ،ـ باـعـتـبـارـهـ أـحـدـ الـوـسـائـلـ لـمـكـافـحةـ الـحـشـراتـ بـتـوكـسيـنـاتـ مـتـعـدـدةـ،ـ بـإـدـارـةـ نـاجـحةـ لـلـسـيـطـرـةـ عـلـىـ ظـاهـرـةـ مـقاـوـمـةـ بـدـونـ أـيـ عـلامـاتـ يـمـكـنـ قـيـاسـهـاـ أوـ تـأـثـيرـاتـ مـنـ المـمـكـنـ تـحـديـدـهـاـ عـلـىـ الـمـدىـ الـطـوـيلـ فـيـ التـواـزنـ الـبـيـولـوـجـيـ فـيـ الـأـنـهـارـ الـمـعـالـمـةـ.

4-3 تـكتـيـكـاتـ إـدـارـةـ السـيـطـرـةـ عـلـىـ مـقاـوـمـةـ فـعـلـ مـيـدـاتـ الـفـطـرـيـةـ

يـوجـدـ عـدـدـ كـبـيرـ مـنـ التـكـيـكـاتـ أـوـ الـوـسـائـلـ الـكـفـيـلـةـ بـإـدـارـةـ السـيـطـرـةـ عـلـىـ مـقاـوـمـةـ لـفـعـلـ مـيـدـاتـ الـفـطـرـيـاتـ.ـ تـخـتـلـفـ هـذـهـ التـكـيـكـاتـ باـخـتـلـافـ الـمـجـامـعـ الـكـيـمـيـائـيـةـ التـابـعـ لـهـاـ هـذـهـ مـيـدـاتـ،ـ وـالـمـرـضـ الـمـسـتـهـدـفـ،ـ وـأـنـوـاعـ الـمـحـاـصـيلـ،ـ وـالـمـنـاطـقـ الـجـغرـافـيـةـ،ـ إـلـاـ أـنـهـ غالـباـ مـاـ يـكـوـنـ مـمـكـناـ وـفـعـالـاـ الـقـيـامـ بـدـمـجـ اـثـنـيـنـ أـوـ أـكـثـرـ مـنـهـاـ مـعـاـ فـيـ خـطـةـ وـاحـدـةـ لـإـدـارـةـ السـيـطـرـةـ عـلـىـ مـقاـوـمـةـ.ـ وـتـشـكـلـ التـكـيـكـاتـ الـمـوـضـحـةـ أـدـنـاهـ الـأـسـاسـ لـوـضـعـ خـطـةـ لـإـدـارـةـ السـيـطـرـةـ عـلـىـ مـقاـوـمـةـ فـعـلـ مـيـدـاتـ الـفـطـرـيـةـ.ـ كـمـاـ وـضـعـتـ اـسـتـرـاتـيـجـيـاتـ لـإـدـارـةـ السـيـطـرـةـ عـلـىـ مـقاـوـمـةـ الـمـجـامـعـ الـكـيـمـيـائـيـةـ الـمـخـتـلـفـةـ التـيـ تـتـبعـهـاـ مـيـدـاتـ الـفـطـرـيـةـ.

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 اللفحه المتاخرة في البطاطس، البياض الرغبي في العنب، ومرض تبعق أوراق الموز (سيجاتوكا)، ومرض التفحـم النـتن في القمح. وتتضمن خطط الإدارة المتكاملة لمكافحة الأمراض ما يلي:

الممارسات الزراعية

- استخدام أصناف المحاصيل المقاومة للمرض، وعوامل المكافحة 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 المسببات المرضية. ويُعد ذلك صحيحاً بصفة خاصة مع نباتات البيوت الزجاجية (الدفيئات).
- 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 يت渥ط ويصبح راسخاً.
- الاطلاع والإلمام بالظروف البيئية والمحصولية المرتبطة عموماً بتطور المرض.

استخدام مبيدات الفطريات

- استخدام مبيدات الفطريات فقط عندما تكون هناك حاجة ملحة.
- استخدام مبيدات الفطريات بالمعدلات الواردة بملصق بيانات المبيد مع ضمان إجراء تعطية جيدة بمحلول الرش.
- تطبيق مبيدات الفطريات للحد من اشتداد الإصابة بأكثر أنواع المرضيات ضراوة والتي قد تؤثر حتى على أصناف النباتات التي كانت في السابق مقاومة للمرض.
- لا تستخدم المبيدات الفطرية التي تطبق 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 المجاميع 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 بتناول 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 "الشريكية" 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 الشريكية الجيدة تكون ذات مثبتات لموقع متعددة فعالة ضد المرض وتتناسب 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 مبيدات الفطريات كلاً منها له موقع واحد، لابد 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.

تقيد عدد المعاملات في الموسم الواحد، وتطبيقها فقط في حالة الضرورة القصوى
هذا النهج يمثل 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 تلتازم مع مراحل الأوبئة الأكثر نشاطاً حيث يكون الضغط الانتخابي على أشدّه. ومن جهة أخرى، فإن انقطاع استخدام المبيدات لفترات طويلة في الوقت الذي يكون فيه المُمرض لا يزال يتضاعف قد يسمح بعودة ظهور المُمرض 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 مخفضة يمكن أن يُسرع من تطور المقاومة.

تجنب استخدام مبيدات الاستئصال

يمكن لمبيدات الفطريات الجهازية أن تستأصل أو تعالج الإصابات الموجودة. وهذه الخاصية المميزة تساعده إلى حد كبير في استخدامها على أساس الحد الحرجة، 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 المُسبب

المرضى تجاه المبيد. وينبغي تجنب استخدام مركبات الفينايل أميدات باعتبارها مركبات مستأصلة، على الأخص إذا كان استخدامها لمكافحة الأمراض على المجموع الخضري وكان في شكل خليط من مبيد فطري مرتبط بموقع متعددة، حيث لا يعمل الأخير كمستأصل للإصابة، وذلك لأن المكون الجهازى (فينايل 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 المواقع المصابة بالجراثيم أو الأبواغ (تعطي حوالي 5% من حجم المجموع الخضري للنبات) تكون معرضة للمبيد الفطري. ومن المحتمل أن تكون الفرصة لحدث انتخاب لصفة المقاومة أكثر بكثير مما لو استخدم المبيد كعامل وقائي لحفظ مستوى مجموع عشيرة المرض منخفض بصفة دائمة.

5-3 تكتيكات إدارة السيطرة على مقاومة فعل مبيدات الحشائش

إن الأساس في إدارة السيطرة على مقاومة فعل مبيدات الحشائش هو استخدام نظام مستدام من شأنه أن يعمل على دمج وتكامل طرق المكافحة 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 وأو دورات النمو، وذلك لتجنب تتبع 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 البذر 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 المتآصلة 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 الانتخابية (المختصة).

- 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 آلياً.

الوسائل الكيميائية: تناوب استخدام مبيدات الحشائش والمحاليل

أشارت دراسات عديدة إلى جدوى وضرورة استخدام مبيدات الحشائش ذات طرق التأثير المتعددة لمنع بداء ظهور المقاومة والتصدي لها قبل أن تظهر وذلك في كثير من التركيبات المختلفة للمحصول/المبيد /الحشائش. وقد شملت الدراسات المتتابعة ما يلي: تطبيق مخلوط مبيدات الحشائش؛ التطبيقات المتتالية المستخدمة على نفس المحصول فيما بعد الإنبات؛ تطبيقات ما قبل الإنبات بمبيد حشائش للتربة فعال، تاليها 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 الآيضية (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 بميد 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 المتباينة أو المخلوط. وهناك تصنيف متاح لمبيدات الحشائش وفقاً لكيفية إحداث الفعل، يتم تحديده 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 ومحاليلها:

- استخدام مبيدات الحشائش ذات الأثر المتبقى 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 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 كلاً من المواد الفعالة على مستوى عالي 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 ملصق 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 لكتافات هذه الحشائش و/أو الحد الاقتصادي للرجح 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 التغيرات في مجتمع 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 ومن لها كيفية واحدة لإحداث الفعل (طريقة التأثير). وفيما يلي بعض التكتيكات أو الأساليب الإضافية لإدارة السيطرة على مقاومة فعل المبيدات الحشرية:

التكتيكات المناطقية لإدارة مقاومة إزاء المحصول والآفة

تركز تكتيكات أو أساليب إدارة السيطرة على مقاومة 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 (مثلاً 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 يستخدم 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 تزيد 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. وبإضافة 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 للافة والمحصول. والأمثلة على ذلك كثيرة منها الاستراتيجيات المتكاملة لإدارة السيطرة على مقاومة الآفات للمبيدات على الحبوب والمحاصيل البستانية الحولية في نيوساوث ويلز وفيكتوريا، 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 المكافحة الطبيعية 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 الأفة) وتجنب تطبيق جرعات من المبيد مفرطة أو أكثر من اللازم، واللجوء إلى استخدام خيارات طرق المكافحة 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 بملصقات بيانات المبيد. ويجب عدم استخدام معدلات أكثر أو أقل من الموصى بها على الإطلاق، لأن ذلك يمكن أن يؤدي إلى حدوث المقاومة وأو إحداث تأثيرات غير مرغوب فيها على الكائنات الحية غير المستهدفة وعلى البيئة. وتتأكد دائماً من أن معدات وأجهزة الرش في حالة جيدة، وأن الشابير والمرشحات ليس بها سدد، لأن ذلك يتسبب في تطبيق معدلات رش غير صحيحة مما يكون باعثاً على حدوث تطور المقاومة.

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

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 سلية يمكن أن يؤدي إلى تفاقم مشكلة المقاومة. وينبغي عدم استخدام المخاليط مطلقاً خاصة إذا كانت الأفة 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 المتبقى الفعال، وذلك لمنع حدوث انتخاب لصفة المقاومة للمكون ذو الأثر المتبقى الفعال لفترات أطول.

استخدم المنشطات مع الحذر

ربما يعمل استخدام المنشطات، التي تعيق أو تؤخر فقد سمية المبيد الحشري (تأييض المبيد)، على تحسين تأثيره وإطالة مدة بقاءه فعلاً، 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 بتثبيط النظم الإنزيمية الأيضية (المتمثيلية) في الأفة والتي من شأنها أن تعمل على عزل أو هدم المبيد الحشري وأو تعزيز نفاذ المبيد في جُلُيد الحشرة. ويحدث التثبيط بسبب ارتباط المنشط مع الإنزيمات الأيضية مما يسمح بوصول أكبر قدر من المبيد إلى موضع التأثير المستهدف في الأفة. وعلى ذلك، فإن المنشطات التي يرجع تأثيرها فقط إلى تثبيط 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 تناول أو في مخاليط مع مبيدات الحشرات

التقليدية حيثما يكون ذلك ممكنا، 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 المكافحة 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 تتبع أجيال متعددة خلال موسم زراعة المحصول.

رصد الآفات صعبة المراس

ينبغي رصد إصابات الآفات التي تنتهي على مشاكل مُعقدة، وذلك للكشف عن بداية التغيرات 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 الحشرى على فترات منتظمة يمكن أن يُسهم في كشف التغيرات المحتملة في حساسية العشيرة. كما يُوصى بإجراء عمليات رصد لتطور المقاومة على فترات منتظمة وذلك لكشف التغيرات التي قد تحدث في حساسية الآفة قلماً تتافق مشاكل المكافحة وتصبح أمراً واقعاً وخطيراً (انظر أيضاً الفصل الرابع).

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

إن الخطوة الأولى التي ينبغي اتخاذها حال إدارة ظاهرة المقاومة هي التأكيد من أن حالات المقاومة المشتبه بها هي مقاومة حقيقة 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 منهجة قياسية. ويعُد ذلك ضرورياً بسبب التباين في أنواع وسلالات القوارض، وأيضاً الاختلافات في الاستجابة بين الذكور والإإناث، والاختلافات في المواد الفعالة في الطعم.

وكما هو الحال مع الممرضات النباتية والحيشات والحشائش، فإن إدارة السيطرة على المقاومة يجب أن ترتكز على الحفاظ على صفة الحساسية في القوارض، أو الخفض 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 تنتهي على تكتيكات جيدة لإدارة المقاومة. وتشتمل الاستراتيجية الأساسية على ما يلي:

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

- توفير حواجز بحيث تمنع القوارض من الوصول إلى المحاصيل المعرضة للهجوم، وتجهيز موانع للتخزين أو أبنية مخصصة لهذا الغرض؛
- مكافحة عشائر الآفات الفارضة 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 ملصقات 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 الطعم الدائمة أينما يزداد نزوح الآفة.
- رصد نشاط القوارض بانتظام مع الاحتفاظ بسجلات مفصلة ودقيقة للمعاملات.
- أينما يستمر تواجد مشاكل القوارض، استخدم تدابير متعددة للمكافحة، وطعم 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 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 الحقلي المعتمد للمركب يعزى 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 مخصص لهذه الظاهرة. وينطوي هذا النظام على محاولات لقياس التغيرات في توافر 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. وتعُد 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

ما قوتها 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 السليمة على المقاومة	القائم بالتنفيذ
2-1 سنة قبل بداية بيع المنتج	وضع طرق لجمع العينات واجراء الاختبارات	مُصنعي المبيدات
خلال سنوات الاستخدام	استكشاف بيانات الحساسية الأولى	تحديد استراتيجية التطبيق؛ وضع خطة إدارة المقاومة
بمجرد اكتشاف علامات المقاومة	رصد المقاومة عشوائيا في المناطق المُعاملة، إذا كان مُبرراً بواسطة تقييم مخاطر محصول /آفة ذات أهمية خاصة	تنفيذ خطة إدارة المقاومة؛ مراقبة الأداء الفعلي للمبيد بعناية
فيما بعد	دراسة المقاومة المشتركة، لياقة الكائنات المتعددة المقاومة، تقييم العوامل الأخرى المؤثرة على تطور المقاومة	إذا تأكدت مشكلة المقاومة، يتم مراجعة وتعديل خطة إدارة المقاومة
[المصدر: مُعدلة من مجلس البحوث الوطني(NRC) 1986]		

تباعين عملية تطور المقاومة للغاية فيما بين محيط تواجد الكائن الحي، وليس 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 ظهور المقاومة في عشيرة الآفة والتي قد تؤدي في نهاية المطاف إلى حدوث مشاكل المقاومة.

4-2 طرق التحقق من المقاومة

بعض النظر عن مبيد الآفات موضع الاهتمام سواء كان مبيد فطريات أو مبيد حشائش أو مبيد حشري، وهناك أساليب متعددة ومتطلبات ضرورية يمكن اتباعها لكي يمكن التأكد من تطور المقاومة في كائن حي معين. 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 الحق، 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 چين 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 تتجو 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 عولمت 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 چينياً. وعادة ما يتم عمل ذلك عن طريق الجهات المصنعة للمبيدات بالتعاون مع المؤسسات البحثية الوطنية أو الإقليمية. وتستخدم الاختبارات لعمل خط قاعدي يمكن استخدامه في تعين 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 المتبعه دقيقة، وتؤدي إلى الحصول على نتائج صحيحة مماثلة للواقع وبالقدر الكافِ، 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 مجهزة لمستلزمات التقييم الحيوي لرصد المقاومة لآفات المهمة (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 المعرضة 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 المعروفة 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 (تأيض 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 (تأيض 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 المُتحصل عليها يجب دائماً أن تقارن 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 كبيراً، فإن ذلك يشير إلى وجود تنوع وراثي كبير داخل مجموعة عشيرة الكائن الحي المستهدف، وأن تطور المقاومة قد يكون على نحو أسرع منه إذا ما كان مدى قيم خط الأساس صغير تماماً.

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، فينبغيأخذ العينات من منطقة جغرافية واسعة قدر الإمكان كي تكون مماثلة بصورة حقيقة للتباين العام في حساسية العشيرة الطبيعية. وعلى الأرجح أن يكون خط الأساس مكون من مجموعة من القيم فضلاً عن أن يكون قيمة واحدة مطلقة حتى يمكن مقارنة النتائج المُتحصل 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 النصفي المؤثر (EC₅₀). وتعتبر مثل هذه الأفراد هي مكونات طبيعية ضمن نطاق الحساسية ولا تُصنف على أنها مقاومة؛ وفي الغالب يتم مكافحتها باستخدام التطبيقات العاديّة 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 مجموعة الحشائش المقاومة بتلك التي يُشتَبه في أنها مقاومة.

العلاقة بين نتائج التقييم الحيوي والأداء الحقلـي

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

حساسية الآفة، وفقاً لنتائج التقييم الحيوي، إلا أن هذا التغيير يكون له تأثير جوهرى 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 موقع الانترنت المتعددة الخاصة بـلجان مجابهة المقاومة للمبيدات، لجنة مجابهة المقاومة للمبيدات الفطرية (FRAC) واللجنة المعنية بمجابهة المقاومة لمبيدات الحشائش (HRAC)، واللجنة المعنية بمجابهة المقاومة للمبيدات الحشرية (IRAC)، وأيضاً موقع منظمة الصحة العالمية (WHO). وجميعها مذكورة في الملحق الأول .

5- المقاومة والمحاصيل المحورة وراثياً/جينياً

1-5 مقدمة

المحاصيل المحورة وراثياً/جينياً هي نباتات تحورت بواسطة إدخال واحد أو أكثر من الجينات الوراثية. وتتسم هذه المحاصيل بسميات عديدة تتعلق بإدارة السيطرة على ظاهرة المقاومة. وأحد هذه المميزات الهامة أن الانخفاض في تركيز التوكسين (السم) في النباتات المحورة وراثياً يبلغ حد 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 ضروريًا، 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 يلاحظ حتى الآن سوى حالات قليلة من الفشل في عمليات المكافحة 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. وتعُد مقاومة الحشائش لمركب جليفوسات التي تلاحظ 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 يشكل تهديداً خطيراً للمحاصيل المحورة وراثياً مع القدرة على تحمل الجليفوسات.

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

عندما ظهرت أول النباتات المحورة وراثياً ببكتيريا باسيلس ثورنجينسيس (*Bt*) التي تفرز بلورات 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 بالباسيلس (*Bt*)، وأيضا تجاه بللورات البروبين السامة (التي تفرزها هذه البكتيريا)، منفردة بدون المبيد؛
- قد تتوارد جرعة عالية من البللورات السامة للبكتيريا على نحو منتظم في النباتات لوقت طويل مما يعلم 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 تخفيق چينات 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 الباسيلس (*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 بچين بكتيريا الباسيلس (*Bt*) على مدى العقد الماضي أن مخاطر تطور المقاومة كانت أقل بكثير مما كان متوقعاً في الأصل. وأن معدلات تكرار چينات المقاومة لفعل توكسينات بكتيريا الباسيلس (*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 المكافحة الحيوية، المبيدات التقليدية التي تُستخدم على المجموع الخضري للنبات، وتقنيات أخرى لإدارة المتكاملة للآفات بشأن النباتات المحورة وراثياً بچين بكتيريا الباسيلس (*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 بچين بكتيريا الباسيلس (*Bt*) سائدة على إجمالي المساحة المنزرعة، باستثناء بعض المناطق التي يتم فيها زراعة الذرة والقطن بشكل كثيف حيث يوجد بها مساحات واسعة مخصصة لزراعة المحاصيل المحورة وراثياً ببكتيريا باسيلس (*Bt*)؛

وفي هذه المناطق، فإن العديد من الآفات الرئيسية يكون لديها مجموعة كبيرة من العوائل و المجالات واسعة المدى للتشتت، وبالتالي فإن جزءاً فقط من مجموع العشيرة هو الذي يتم تعرضه لتوكسينات بكتيريا باسيلس (*Bt*) وانتخابه لمقاومة فعلها. بالإضافة إلى ذلك، فإن خطط إدارة السيطرة على المقاومة تتطلب زراعة المحاصيل المحورة وراثياً بچين بكتيريا باسيلس (*Bt*) ذات بllerرات البروتين الأحادية، لتتوفر ملجاً أو ملاذاً منظم يتكون من المحاصيل الغير محورة وراثياً ببكتيريا باسيلس (*Bt*) مزروعة بمنطقة مجاورة للمحاصيل المحورة وراثياً (*Bt*). وتعتبر هذه الأصناف والمحاصيل الغير محورة وراثياً مأوى جيد للحشرات، مما يضمنبقاء 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 تقل ظاهرة المقاومة للأجيال المتتالية؛

- تميل الچينات الحاملة لصفة المقاومة لتوكسينات بكتيريا الباسيلس (*Bt*) لأن تكون متتحية وظيفياً ويصاحب 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 بچينات 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 بچينات بكتيريا باسيلس (*Bt*)، والذي عادة ما يكون عالياً بما يكفي لمكافحة معظم أفراد الآفة الحشرية متغيرة الزيجوت (متغيرة الآلات) 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 باسيلس (*Bt*)، بموقع 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 تتنفس عشائر شديدة المقاومة لتوكسينات چين 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 بچين بكتيريا باسيلس (*Bt*)، وهي دودة الحشد الفتاكية *Spodoptera frugiperda* في بورتوريكو، وثاقبات الساق الأفريقية *Busseola fusca* في جنوب أفريقيا، ودودة اللوز القرنفلية *Pectinophora gossypiella* في الهند، ومؤخراً في دودة جذور الزلة 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 بچين 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 استخداماتها. كما أنه من غير المقبول أن نفترض بأن الخبرات المُكتسبة من إدخال چينات بكتيريا باسيلس (*Bt*) في النباتات الجديدة المحورة وراثياً لمقاومة الآفات ستكون بالضرورة متشابهة.

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

تُعد التكتيكات المستخدمة للسيطرة على مقاومة الآفات لفعل السموم (التوكسينات) التي تنتجها النباتات المحورة وراثياً بچين بكتيريا باسيلس (*Bt*) هي نفس التكتيكات المستخدمة للسيطرة على المقاومة لفعل مبيدات الآفات التقليدية بوجه عام، ولكن مع إضافة بعض التكتيكات لحفظ على چينات 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 الضرورية إلى جانب الإدارة الصحيحة للمحصول يساعد على بقاء عشائر المفترسات والمتطلفات 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 البروتينيات السامة لجين بكتيريا الباسيلس (*Bt*), كما أن هذه البروتينات قد لا يتم إنتاجها بالتساوي في الموضع 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 متغيرة الزيجوت (متغيرة الألائل) فإن صفة المقاومة سوف تتطور على نحو أسرع.
- **ملاجيء 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 بجين بكتيريا الباسيلس (*Bt*). وعمل ملاذ بجانب أو داخل المساحات المزروعة بالمحاصيل المحورة وراثياً ببكتيريا 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 بجين بكتيريا الباسيلس (*Bt*) يعقبها صفوف 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 بجين 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 بجين بكتيريا الباسيلس (*Bt*):** ينبغي إيلاء الاهتمام بصفة خاصة إلى نوع البروتينات التي تنتجها المحاصيل المختلفة المحورة وراثياً بجين 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 لنواعين من السموم المختلفة في آنٍ واحد. ونظراً لأن خفض مخاطر المقاومة، ولأن الآفات المستهدفة متحركة جداً وتهاجر بسهولة من حقول المحاصيل العادمة (الغير محورة وراثياً) فقد أوصت وكالة حماية البيئة الأمريكية (EPA) بعمل ملادات طبيعية لأجل محاصيل القطن المحورة وراثياً بجين بكتيريا *basilis* (*Bt*) التي تنتج نوعين من بللورات البروتين بدلًا من الملاذ المنظم اللازم لنباتات القطن المحور وراثياً وينتج نوع واحد من بروتينات بكتيريا *basilis* (*Bt*).

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

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

التكتيك	نقاط القوة والضعف
جريدة عالية لمكافحة الأفراد متغيرة الزيجوت (متغيرة 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 يتتوفر نوعان من التوكسينات فيريدان في مواضع تأثيرهما ولهمما فعالية ضد نفس نوع الآفة. وربما أيضاً تعمل هذه الاستراتيجية على توسيع نطاق نشاط الآفة وتشتيتها.
الحد من المساحة الإجمالية المزروعة بالمحاصيل المحورة وراثياً في منطقة معينة (مساحة محدودة)	حالات محدودة يتم تنفيذها بنجاح في الفلبين واستراليا؛ وقد يكون من غير الممكن إدارتها في بعض النظم.
الإدارة المتكاملة للأفات	تطبيق الوسائل الصحيحة للإدارة المتكاملة للأفات (الزراعية، البيولوجية، الكيميائية) يمكن أن تحد منبقاء 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 للاحظة 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 اختبار المحاصيل المحورة وراثياً بجين <i>Bt</i> ، وأهمية تكتيكات إدارة السيطرة على مقاومة، وإذا دعت الحاجة إلى عمل ملاذ منظم فينبغي متابعة أمثل 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 الليشمانيات *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 مستخدمة بالفعل على نطاق واسع ضد الآفات الزراعية في نفس المنطقة. ويطلب الأمر التعاون الوثيق بين قطاعات الشئون 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. ويُلاحظ 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.irac-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.pesticeresistance.org/>)

منع وإدارة السيطرة على المقاومة

م الموضوعات 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. Anticogulant 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>)

WHOPES. 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 المُعدلة وراثياً / جينياً

Carrière, Y., Dennehy, T.J., Pedersen, B., Haller, S., Ellers-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.irac-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 ونافلات 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.irac-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 بعض مجموعات من مبيدات الآفات. وهذا السرد ليس شاملًا وإنما هو على سبيل الاسترشاد فقط. ولا تتحمل منظمة الأغذية والزراعة للأمم المتحدة (FAO) مسؤولية الخطط الفردية لإدارة السيطرة على المقاومة. وكما تم التشدد في النص على ضرورة وضع خطة 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.cottoncrc.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.xsl/26_4240_ENA_HTML.htm
- http://www.dpi.qld.gov.au/cps/rde/xchg/dpi/hs.xsl/26_4239_ENA_HTML.htm
- http://www.croplifeaustralia.org.au/default.asp?V_DOC_ID=1854,
- <http://www.croplifeaustralia.org.au/files/resistancemanagemen/herbicides/2010%20Herbicde%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 المعدلة 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-الكرنب

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

الصوب الزراعية (الدفيئات)

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

بذور اللفت الزيتي (الحبوب الزيتية)

- <http://www.irac-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 وت تكون 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 وت تكون 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>