بدورها عليها. وهى تكافح برش الأوراق بالمبيدات الفطرية المناسبة، فلا تنمو عليها الفطريات، فيموت النمل جوعا. ويعتقد أنه من الصعب التربية لمقاومة حشرة كهذه (عن Russell ١٩٨٧).

التقييم للمقاومة

يلزم لأجل إجراء اختبارات التقييم لمقاومة الحشرات والأكاروسات بصورة سليمة التعرف – أولاً – على مختلف العوامل التى يمكن أن تؤثر فى نتائج عملية التقييم.

العوامل المؤثرة فى المقاومة

تتأثر المقاومة للحشرات فى النباتات بعديد من العوامل، كما يلى:

أولاً: العوامل النباتية

من أهم العوامل النباتية التى تؤثر فى المقاومة للحشرات، ما يلى:

١ – عمر النسيج النباتى:

تختلف شدة المقاومة للحشرات – كثيرًا – باختلاف عمر النسيج النباتى الذى يتعرض للإصابة، ففى بعض الحالات تزداد شدة المقاومة فى المراحل المبكرة من النمو عما فى المراحل المتأخرة، بينما يحدث العكس فى حالات أخرى ولو فى نفس النوع النباتى. فمثلا .. تكون المقاومة لحفار الذرة الجنوب غربى *Diatraea grandiosella* وحفار الذرة الأوروبى *Ostrinia nubilalis* – فى أصناف الذرة المقاومة – أعلى فى مراحل النمو الخضرية عما يليها. كذلك تزداد مقاومة نباتات السورجم الصغيرة لكل من المن *Rhopalosiphum maidis* ونطاطات النبات *Peregrinus maidis* والجراد المهاجر *Locusta migratoria migratorides* عن النباتات الأكبر عمرًا. وتحتوى أوراق الأقحوان الصغيرة – فى الأصناف المقاومة للعنكبوت الأحمر *Tetranychus urticae* – على تركيزات أعلى من الفينولات الأحادية والمتعددة عما تحتويه الأوراق الأكبر عمرًا التى تكون أقل مقاومة.

وعلى خلاف ما تقدم بيانه. فإن مقاومة الأرز لكل من نطاط النبات البنى

Nilaparvata lugens ونطاط الأوراق الأخضر *Nephotettix virescens* تكون أكثر وضوحًا في الأنسجة الأكبر عمرًا. ويحدث الأمر ذاته في كل حالات: مقاومة الطماطم لخنفساء كلواردو *Leptinotarsa decemlineata*، والذرة السكرية لدودة كيزان الذرة *Heliothis zea*، والشعير لنوع المن *Rhopalosiphum padi*.

٢ - نوع النسيج النباتي:

نجد أن النموات القمية الصغيرة الغضة تكون - عادة - أكثر تفضيلاً لتغذية الحشرات. يحدث ذلك - على سبيل المثال - في حالات تغذية كلا من: *Heliothis zea*، والعنكبوت الأحمر، ودودة فول الصويا القياسية *Pseudoplusia includens* على فول الصويا. هذا إلاّ أن العكس قد يحدث أحيانًا حيث تكون الأوراق العليا الغضة هي الأكثر مقاومة عن الأوراق السفلية، كما في حالة مقاومة ذبابة البيوت المحمية البيضاء *Trialeurodes vaporariorum* في الفلفل (عن Smith وآخرين ١٩٩٤).

٣ - المقاومة المستحَثة:

يمكن أن تُستحَث المقاومة للحشرات جراء تجريح ميكانيكي أو إصابة حشرية سابقة للنمو النباتي. وهذا الحث يمكن أن يحدث في خلال ساعات من حدوث الضرر، بينما قد يستمر لعدة أيام. وفي بعض الأشجار الخشبية قد يستمر تأثير هذا الحث لثلاث سنوات.

ومن أمثلة ذلك أن تغذية دودة براعم التبغ *H. virescens* على نباتات القطن يستحث زيادة إنتاج النباتات للمركبات الفينولية التي تكون مضادة لديدان اللوز. كذلك فإن تغذية العنكبوت الأحمر على القطن تجعله أكثر مقاومة للدودة *Spodoptera exigua*.

٤ - الإصابات المرضية بالنبات:

يمكن أن تصبح النباتات أكثر مقاومة للإصابات الحشرية جراء تعرضها للإصابة بمسببات مرضية ليست متوافقة معها.

ثانيًا: العوامل الحشرية

تتأثر شدة الإصابة الحشرية بعديد من العوامل الحشرية. مثل عمر الحشرة وجنسها، وتغذيتها السابقة لاختبار المقاومة، وجميعها عوامل يتعين أخذها فى الحسبان عند إجراء اختبارات التقييم للمقاومة، كما يلى:

١ - عمر الحشرة:

توجد علاقة طردية مباشرة بين عمر الحشرة واستهلاكها من النسيج النباتى الذى تقتات عليه؛ بما يتعين معه اختيار العمر الذى يعطى أفضل تمييز بين التراكيب الوراثية المقاومة وتلك التى تكون قابلة للإصابة.

٢ - جنس الحشرة:

من المعروف أن الإناث تستهلك قدرًا أكبر من الغذاء عن الذكور؛ نظرًا لاحتياجاتها العالية من البروتين الذى يلزم لتكوين البيض الذى تضعه الأنثى.

٣ - الظروف التى تتعرض لها الحشرة قبل استعمالها فى اختبار المقاومة:

يتعين إبعاد الحشرات التى استعملت فى دراسات تغذية عن غذائها مع توفير الماء لها لعدة ساعات قبل استعمالها فى اختبار المقاومة. وذلك إذا ما كانت اختبارات التغذية السابقة قد أجريت لفترة قصيرة، أما إذا كانت قد دامت لفترة طويلة. فإنه يتعين نقلها لتتغذى على نباتات قابلة للإصابة من العائل ذاته - المطلوب استخدامها فى اختباره - وذلك قبل إجراء اختبار المقاومة.

إن الأغذية المجهزة التى يمكن أن تُعطاها الحشرات أثناء تربيتها قد تُحدث تغيرات فى تفضيل الحشرة للغذاء؛ ومن ثم تؤثر فى نشاطها على الجيرميلازم المطلوب اختباره.

ثالثًا: العوامل البيئية

تؤثر مختلف العوامل البيئية على شدة الإصابة بالحشرات أو المقاومة لها، كما يلى:

١ - شدة الضوء ونوعيته:

نجد أن زيادة شدة الإضاءة تؤدى - على سبيل المثال - إلى زيادة مقاومة الطماطم

لحشرة *Manduca sexta* (الـ tobacco hornworm)، إلا أن تعريض نباتات فول الصويا إلى الإضاءة بصورة دائمة يضعف مقاومتها لدودة الكرنب القيّاسة *Trichoplusia ni*، ويؤدى نقص شدة الإضاءة بصورة دائمة إلى إضعاف المقاومة الحشرية فى عديد من النباتات. مثل القمح، والبرسيم الحجازى، والسورجم، والذرة. وبنجر السكر، وفول الصويا (عن Smith وآخرين ١٩٩٤)؛ فمثلاً .. تبين أن ضعف الإضاءة يفقد بعض أصناف القمح مقاومتها لحشرة Wheat Stem Sawfly، كما وجد أن التظليل يفقد بنجر السكر والبطاطس مقاومتهما لحشرتى من الخوخ الأخضر *Myzus persicae* وخنفساء كلورادو *Leptinotarsa decemlieata* على التوالى. وقد وجد فى حالة البطاطس أن التظليل يؤدى إلى خفض محتوى النموات الخضرية من الجليكوسيدات الاستيرودية *Steroidal Glycosides* التى تعرف بتأثيرها الضار على حشرة خنفساء كلورادو.

٢ – درجة الحرارة:

قد لا تظهر مقاومة النباتات للحشرات فى درجات الحرارة الشديدة الانخفاض أو الشديدة الارتفاع؛ فنجد أن مقاومة الحبوب الصغيرة للحشرات تضعف فى درجات الحرارة الأعلى من المعدل الطبيعى للمحصول، وقد تحددت تلك العلاقة بين درجة الحرارة والمقاومة فى كل من الحالات التالية:

أ – مقاومة القمح لذبابة هسّيان *Mayetiola destructor*.

ب – مقاومة الشعير والسورجم للبقة الخضراء *Schizaphis graminum*.

جـ – مقاومة السورجم لمن القمح الروسى.

كذلك تنخفض شدة المقاومة الحشرية فى البرسيم الحجازى فى درجات الحرارة التى تقل بمقدار ١٠ – ١٥م عن معدلاتها الطبيعية، ولكن تزداد المقاومة لمن البرسيم الحجازى المنقط – فى البرسيم الحجازى – عندما تتباين درجات الحرارة كثيرًا ليلاً ونهارًا عما لو كانت النباتات نامية فى حرارة ثابتة تعادل متوسط الحرارة المتقلبة.

٣ - خصوبة التربة والتسميد:

تؤدى زيادة معدلات التسميد الآزوتى إلى ضعف المقاومة ضد دودة ورق القطن فى عديد من النباتات، مثل الذرة، والحبوب الصغيرة، والفول السودانى، والبرسيم الحجازى، والطماطم، والسورجم. هذا إلا أن زيادة معدلات التسميد البوتاسى والفسفورى وزيادة مستوى الكالسيوم تؤدى إلى زيادة مقاومة البرسيم الحجازى لمن البرسيم الحجازى المنقط، والسورجم للبقة الخضراء. كما أن إضافة السيليكا أو الألومنيوم لبرنامج تسميد الأرز يؤدى إلى زيادة مقاومته لنطاط النبات *Sogatella furcifera*.

٤ - الرطوبة النسبية:

للرطوبة النسبية أهمية خاصة فى مقاومة الحبوب المخزنة لحشرات المخازن (عن Smith وآخرين ١٩٩٤).

ويستفاد مما تقدم ضرورة إجراء اختبارات التقييم للمقاومة فى ظروف بيئية متباينة حتى لا تنتخب نباتات تعتمد مقاومتها على توفر ظروف خاصة، ولا تظهر فيما عداها. وأفضل وسيلة لتحقيق ذلك هى أن تعرض النباتات لظروف بيئية مماثلة للظروف التى تتعرض لها النباتات فى الطبيعة؛ من حيث درجة الحرارة السائدة، والتباين بين درجتى حرارة الليل والنهار، وشدة الإضاءة، والرطوبة النسبية، وخصوبة التربة .. إلخ.

ويلاحظ أن اختبار النباتات داخل أقفاص خاصة عازلة cages يؤدى حتما إلى خفض الإضاءة التى تتعرض لها، وهو ما يلزم تجنبه.

ولمزيد من التفاصيل عن تأثير العوامل البيئية على المقاومة .. يراجع Tingey & Singh (١٩٨٠).

اختيار الجيرمبلازم المناسب للتقييم للمقاومة

تؤخذ فى الحسبان عند اختيار الجيرمبلازم المناسب للتقييم للمقاومة للحشرات والأكاروسات الاعتبارات ذاتها التى أسلفنا بيانها تحت موضوع التقييم لمقاومة الأمراض.

وتتوفر مصادر طبيعية لمقاومة عديد من الحشرات والأكاروسات فى كثير من محاصيل الخضر كما يلى (عن Stoner ١٩٧٠).

المحصول	الحشرات التى تتوفر مصادر لمقاومتها
البطاطس	من البطاطس، ومن الخوخ الأخضر. ونطاط أوراق البطاطس، وخنفساء البطاطس البرغوثية. وخنفساء كلورادو، والدودة السلكية.
الطماطم	الدروسوفيلا، والعنكبوت الأحمر، وصانعات الأنفاق، ومن البطاطس، وخنفساء التبغ البرغوثية، والذبابة البيضاء.
الذرة السكرية	دودة كيزان الذرة، وحفار ساق الذرة الأوروبية.
الصليبيات	من الكرنب، والفراشة ذات الظهر الماسى، والخنفساء البرغوثية المخططة، ومن الخوخ الأخضر.
الفاصوليا	خنفساء الفاصوليا المكسيكية، ونطاطات الأوراق، وتربس الفاصوليا.
فاصوليا الليما	نطاط أوراق البطاطس.
البسلة	من البسلة.
البصل	تربس البصل.
القرعيات	خنفساء الخيار المخططة، وخنفساء الخيار المنقطة، وحفار ساق الكوسة.
الخس	من جذور الخس.

ويعطى (Radcliffe & Lauer ١٩٦٦) نتائج تقييم عدد كبير من أنواع الجنس *Solanum* – التى تكوّن درنات – لمقاومة كل من منّ البطاطس، ومنّ الخوخ الأخضر.

ويظهر فى جدول (١٢–١) بيان بمصادر المقاومة لعدد من الحشرات الهامة فى بعض محاصيل الخضر من كل من أنواعها المنزرعة والبرية.

وإذا ما تتبعنا مصادر المقاومة لآفة معينة فى مختلف المحاصيل، فإننا نجد فى حالة الذبابة على سبيل المثال – أن المقاومة لها تتوفر فى عدد من المحاصيل الهامة، كما يلى:

١ – القطن:

تحمل أوراق القطن الملساء عددًا اقل من أفراد *Bemisia tabaci* عما تحمله الأوراق

جدول (١٢—١): مصادر المقاومة لبعض الحشرات فى بعض محاصيل الخضر (عن Barbour ١٩٩٩).

النبات	النوع النباتى	الحشرة	الجيرمبلازم المقاوم
الكرفس اللفتى	*Apium graveolens* var. "rapaceum"	*Spodoptera exigua*	PI223333
الكرفس البرى	*A. chilense*	*Liriomyza trifolii*	A73
	A. panul		A160
	A. prostratum		A230
	A. nodiflorium		PI279829
الجزر	*Daucus carota*	*Lygus* spp.	عدة أصناف
		Psila rosae	عدة أصناف
الخس	*Lactuca sativa*	*Cavariella aegopodii*	Berlikum
		Pemphigus bursarius	Imperial 45634-m
الخس البرى	*L. virosa*	*Nasonovia ribisnigri*	PIVT 280
		Myzus persicae	PIVT 280, various accessions
		Macrosiphum euphorbiae	عدة سلالات
	L. saligna	*Trichoplusia ni*	PI261653
	L. serriola		PI274372
	L. perennis		PI279684, PI253299, PI281876
الخيار	*Cucumis sativus*	*Tetranychus urticae*	Hybrid Long Greeu Pickle, Ohio M. R., Taipei No. 1, Robin 50, Aodai, PI220860, PI178885, PI163222, PI218036
الخيار البرى	*C. africanus*	*T. urticae*	عدة سلالات
	C. anguria		
	C. myriocarpus		
	C. angolensis	*Trialeurodes vaporarorium*	
	C. asper		
	C. deteri		
القاوون	*Cucumis melo*	*Aphis gossypii*	PI161375, PI164320, PI371795, PI414723, 90234 (from PI371795), Kanro makuwa, Ginsen makuwa, Shiroubi okayama, AR Hales Best Jumbo, AR5, AR Topmark
		Diabrotica spp.	91213 (from PI371795)
		Acalymma spp.	C922-174-B
		Liromyza sativa	PI282448, PI313970
الطماطم	*Lycopersicon esculentum*	أكثر من ١٢ نوعًا	حوالى ١٠٠ تركيب وراثى
الطماطم البرية	عدة أنواع	أكثر من ٢٠ نوعًا	أكثر من ٥٠ سلالة

الزغبية، ويبدو أن توفر مجموعة من الصفات الظاهرية، وهى الأوراق الملساء الصغيرة الحجم التى تشبه فى شكلها أوراق البامية، مع النمو الخضرى المفتوح يمكن أن تقلل الإصابة بالذبابة البيضاء بنحو ٧٥٪. هذا .. وتتوفر فى أصناف القطن – بالفعل – اختلافات جوهرية فيما يمكن أن تحمله أوراقها من الذباب الأبيض تحت ظروف واحدة من شدة التعرض للإصابة، وهى اختلافات ترجع فى مجملها إلى أسباب مورفولوجية

٢ – الطماطم:

يعد النوعان *Lycopersicon hirsutum*، و *L. pennellii* مقاومين لذبابة البيوت المحمية البيضاء *Trialeurodes vaporariorum* وكذلك لذبابة القطن البيضاء *B. tabaci*، بسبب كثرة إفرازاتهما الغدية بكل من الأوراق والسيقان.

٣ – الفلفل:

تتوفر اختلافات وراثية كبيرة فى مقاومة الأصناف التجارية لذبابة البيوت المحمية البيضاء، ويعد الصنف كاليفورنيا وندر من أشدها مقاومة.

٤ – الخيار:

وجدت المقاومة لذبابة البيوت المحمية البيضاء – بدرجة عالية ومتجانسة فى ست سلالات من النوع البرى *Cucumis metuliferus* (عن De Ponti وآخرين ١٩٩٠).

طرق التقييم للمقاومة

اعتبارات أولية

إن من أكثر خطوات التربية لمقاومة الحشرات صعوبة عملية التقييم للمقاومة، وهى التى يجب أن تجرى بطريقة تسمح بتعريض جميع النباتات المختبرة للحشرة المعنية بصورة متجانسة وبمستوى مناسب من الإصابة، حتى لا تفلت بعض النباتات من الإصابة فتُنتخب على أنها مقاومة، أو يُضار بعضها الآخر بشدة من جراء شدة كثافة التواجد الحشرى فتُصنَّف على أنها شديدة القابلية للإصابة.

ويتعين على المربى الذى يقوم بالتربية لمقاومة الحشرات - أو الأكاروسات - أن يكون ملمًا بالحقائق التالية:

١ - دورة حياة الآفة بالتفصيل، ليمكن التخطيط لإكثار الحشرة لإجراء اختبارات المقاومة.

٢ - بيولوجى وسلوك الآفة، ليمكن التمييز بين المقاومة الوراثية وحالات الإفلات من الإصابة.

٣ - طريقة التغذية، ليمكن تفهم ميكانيكية، أو طبيعية المقاومة.

٤ - كيفية إحداث الحشرة للأضرار بالنبات، لأنه قد تتوفر جينات مختلفة تمنع حدوث أنواع مختلفة من الأضرار.

ويتعين عند إجراء اختبارات المقاومة أخذ الأمور التالية فى الحسبان:

١ - اختيار الكثافة المناسبة من الآفة لإجراء اختبارات التقييم، وهى التى تعطى أكبر قدر من التفريق بين النباتات المقاومة والنباتات القابلة للإصابة. فيجب ألا تقل كثافة الحشرات عن حد معين، وإلا لن يمكن التعرف على عديد من التراكيب الوراثية القابلة للإصابة. وكما يجب ألا تزيد عن حد معين، وإلا لن يمكن التعرف على بعض التراكيب التى قد تكون مقاومة بدرجة جيدة فى الظروف الطبيعية. كما يجب أن يبقى مستوى كثافة الحشرة ثابتًا من اختبار لآخر.

٢ - تزداد فى اختبارات التقييم الأولية فرصة العثور على مصدر للمقاومة كلما ازداد عدد السلالات والأصناف المختبرة. ولذا .. يجب فى تلك المرحلة زيادة أعداد الأصناف المختبرة حتى لو كان ذلك على حساب التضحية بجزء من دقة الاختبار. أما فى الاختبارات التالية، وأثناء برنامج التربية فلابد من مراعاة الدقة التامة فى اختبارات التقييم للمقاومة، ليمكن التعرف على التراكيب الوراثية المقاومة فى الأجيال الانعزالية.

٣ - يفضل إجراء اختبار المقاومة فى عدة مناطق متباينة، لأن ذلك يحقق ثلاث مزايا، هى:

أ – إجراء الاختبارات تحت ظروف بيئية مختلفة.

ب – احتمال تعرض النباتات لسلالات مختلفة من الآفة.

جـ – قيام أفراد مختلفين بتسجيل نتائج التقييم، فيقل بذلك أثر العامل الشخصى (عن Painter ١٩٥١).

وتجرى اختبارات التقييم - عادة - إما فى الحقل وإما فى الزراعات المحمية، وقد يكون معمليًا؛ كما تختلف الأسس التى تبنى عليها اختبارات التقييم فى كل حالة منها.

الأسس التى تبنى عليها وتجرى على أساسها اختبارات التقييم

يمكن تقييم النباتات لمقاومة الحشرات على الأسس وبالطرق التالية:

أولاً: التقييم على أساس مدى الضرر الذى تحدثه الحشرة بالنباتات

يجب أن تؤخذ فى الحسبان – عند إجراء التقييم – كافة العوامل النباتية والحشرية والبيئية التى يمكن أن تؤثر فى نتيجة التقييم، وإلاّ فإن بعض الجيرمبلازم المقاوم أو المتوسط المقاومة قد يبدو وكأنه قابل للإصابة، أو العكس، ويجب أن يتم التحكم فى جميع العوامل بحيث يمكن التمييز بين الدرجات المختلفة من المقاومة أو القابلية للإصابة.

وعلى الرغم من اختلاف طريقة التقييم باختلاف الحشرة والنبات، فإنه توجد قواعد عامة، وهى التى تتناولها بالشرح.

١ – التقييم الحقلى:

يجرى التقييم الحقلى فى المواسم والمواقع التى يتوقع أن تكون الإصابة فيها عالية ومتجانسة؛ فكل نبات يجب أن تكون فرصته فى التعرض للإصابة مثل أى نبات آخر فى الحقل، علمًا بأن مستوى الإصابة المناسب يتحقق بتوفير الحد الأدنى لعدد الحشرات التى تلزم لجعل الصنف القابل للإصابة – بانتظام – فى فئة القابل للإصابة.

أ – استعمال العشائر الحشرية الحقلية:

تستخدم العشائر الحشرية الحقلية فى التقييم للمقاومة – عادة – فى المراحل الأولى

من برنامج التربية، إلا أن الاعتماد عليها لا يخلو من مخاطر، مثل:

(١) قد تكون الكثافة الحشرية أقل أو أكثر مما ينبغى، وقد تكون غير متجانسة فى المكان أو فى الزمان.

(٢) قد يتباين مستوى الكثافة الحشرية من سنة لأخرى؛ الأمر الذى يجعل من الصعب تفسير وربط نتائج التقييم فى الأجيال المتعاقبة فى برنامج التربية.

(٣) قد تتواجد فى الحقل حشرات أخرى غير تلك المعنية بالتقييم، مما قد يؤثر فى نتيجة التقييم، وخاصة إذا ما كانت تُحدث بالنباتات أعراضًا شبيهة بالأعراض التى تُحدثها الحشرة المستهدفة.

ومن بين الوسائل التى يمكن اتباعها لزيادة كثافة وتجانس التواجد الحشرى فى مرحلة النمو المناسبة للتقييم، ما يلى:

(١) زراعة خطوط من نباتات جاذبة للحشرة المعنية حول الحقل.

(٢) إذا لم يكف ذلك الإجراء لجذب الحشرات إلى داخل حقل التقييم فإنه يمكن قطع تلك النباتات – بعد إصابتها – لإجبار الحشرة المستهدفة إلى الانتقال منها إلى النباتات الأخرى بالحقل.

(٣) استعمال مبيدات اختيارية، بهدف قتل الأعداء الطبيعية للحشرة مع الإبقاء على الحشرة ذاتها.

(٤) زيادة معدل التسميد الآزوتى، بهدف زيادة نشاط الحشرة وتغذيتها وتكاثرها.

(٥) استخدام المصائد لجذب الحشرة إلى الحقل، مثل المصائد الضوئية light traps، والمصائد الفيرمونية phermone traps، والمصائد الكيرومونية kairomone traps.

(٦) جمع أعداد كبيرة من العشيرة المتوطنة للحشرة وإطلاقها فى حقل التقييم (عن Smith وآخرين ١٩٩٤).

ويتم – عادة – تأمين الإصابة الحشرية تحت ظروف الحقل بواحدة أو أكثر من الوسائل التالية:

(١) زراعة خطوط الأصناف أو السلالات أو العشائر التى يُراد اختبار مقاومتها بين

خطوط من النباتات التى تعرف بقابليتها للإصابة؛ لتكون مصدرًا متجددًا للآفة الحشرية التى تتكاثر عليها بحرية.

(٢) إجراء الاختبار فى المناطق التى تشتد فيها الإصابة عادة.

(٣) إجراء الاختبار فى المواسم التى تشتد فيها الإصابة عادة.

(٤) إجراء اختبارات التقييم للآفات الحشرية التى تعيش فى التربة فى الحقول التى تُعرف بشدة إصابتها بتلك الآفات، مع تكرار زراعتها بنباتات قابلة للإصابة لإدامة إكثار تلك الحشرات.

(٥) نقل أعداد متساوية من بيض الآفة الحشرية أو يرقاتها إلى كل نبات من تلك التى يرغب فى تقييمها.

ويمكن تحفيز الإصابة تحت ظروف الحقل بإحداث عدوى صناعية محدودة يمكن أن تنتشر منها الإصابة فى باقى الحقل. ويمكن تحقيق ذلك بإحدى الطرق التالية:

(١) نثر أجزاء من أوراق مصابة على النباتات فى الحقل، حيث تنتقل الآفة منها - بمجرد ذبولها - إلى النباتات التى يُراد اختبارها، وتفيد هذه الطريقة - خاصة - فى اختبارات المقاومة للمن.

(٢) وضع نباتات كاملة مصابة بشدة بالآفة المعنية فى أماكن متفرقة من الحقل، حيث تنتقل الآفة منها - بمجرد ذبولها - إلى النباتات التى يُراد اختبارها بطريقة أقرب ما تكون إلى العدوى الطبيعية.

(٣) زراعة خطوط من صنف قابل للإصابة بين خطوط النباتات التى يراد اختبارها، مع عدوى نباتات هذا الصنف صناعيا.

(٤) زراعة خطوط من أحد الأنواع الشديدة القابلية للإصابة بالآفة المعنية - مبكرًا - بين خطوط النباتات التى يراد اختبارها، لكى تتوفر أعداد كبيرة من الآفة فى وقت مبكر من موسم النمو.

(٥) يتم فى حالة ثاقبات الذرة تربية الحشرة فى المعمل ودفعها لوضع البيض، ثم تنقل كتل البيض إلى النباتات النامية فى الحقل، وبذا .. تكون العدوى متجانسة

وتجرى فى الوقت المرغوب، ولكن يجب عند اتباع هذه الطريقة استخدام أعداد كبيرة من الآفة تمثل العشائر الطبيعية منها، على ألا تتسبب تربيتها المعملية فى أى تغيير فى سلوكياتها المتعلقة بالتغذية.

(٦) يمكن بالنسبة لآفات التربة تخصيص أحد الحقول لإجراء اختبارات التقييم بعدواه صناعيا فى البداية، ثم المحافظة على استمرار تواجد الآفة فيه بزراعته من موسم لآخر بأحد الأصناف الشديدة القابلية للإصابة بتلك الآفة (عن Painter ١٩٥١، Russell ١٩٧٨).

ومن الأمثلة الناجحة على اختبارات التقييم الحقلية أنه أمكن تقييم ٢٠٠٠ صنف من التفاح فى المملكة المتحدة (شكّلت الـ UK National Fruit Trials) لمقاومة الحشرات خلال موسم واحد تم خلاله إيقاف برنامج المكافحة العادى بالمبيدات. وبرغم أن الغرض من إيقاف برنامج المكافحة كان تقدير مدى الضرر الذى يحدث لكل صنف من جراء الإصابات الحشرية، إلا أن هذه التجربة أدت إلى اكتشاف حالات المقاومة التالية:

- أربعة عشر صنفا ذات مقاومة عالية جدًّا لمن التفاح الوردى *Sappaphis mali*.
- ثلاثة أصناف منيعة لمن التفاح الأخضر *Aphis pomi*.
- عديد من الأصناف المقاومة لحشرة *Psylla mali* (الـ Apple sucker).
- عديد من الأصناف المقاومة لحشرة *Hoplocampa testudinea* (الـ Apple sawfly).

ب - استعمال العدوى الصناعية:

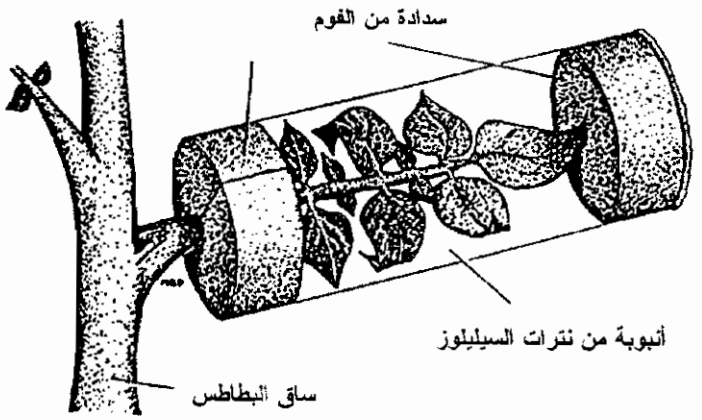
يمكن عن طريق إكثار الحشرة - على نطاق واسع - على عوائلها الطبيعية أو على البيئات الصناعية توفير أعداد كبيرة منها لاستخدامها فى التقييم فى الوقت المناسب. علما بأن كلا من الحشرات نصفية الأجنحة hemipterans، والمتشابهة الأجنحة homopterans، وذات الجناحين dipterans يمكن إكثارها بنجاح على عوائلها، بينما تتوفر البيئات الصناعية لتربية وإكثار حشرات حرشفية الأجنحة lepidopterans. هذا إلاّ أن الإكثار الحشرى المستمر على البيئات الصناعية غالبا ما يقلل من تنوعها الوراثى، ويغير من سلوكها وطبيعة الأيض فيها؛ الأمر الذى يتطلب مراقبة ذلك على الدوام

لتجنب حدوث أى انحراف وراثى فى العشيرة المرباة. ومن بين الوسائل الفعالة لتحقيق ذلك إضافة أفراد برية من الحشرة إلى العشيرة المرباة على فترات، والتأكد من أن بيئة التغذية الصناعية المستخدمة لا تختلف فى تركيبها الكيميائى عن النبات العائل.

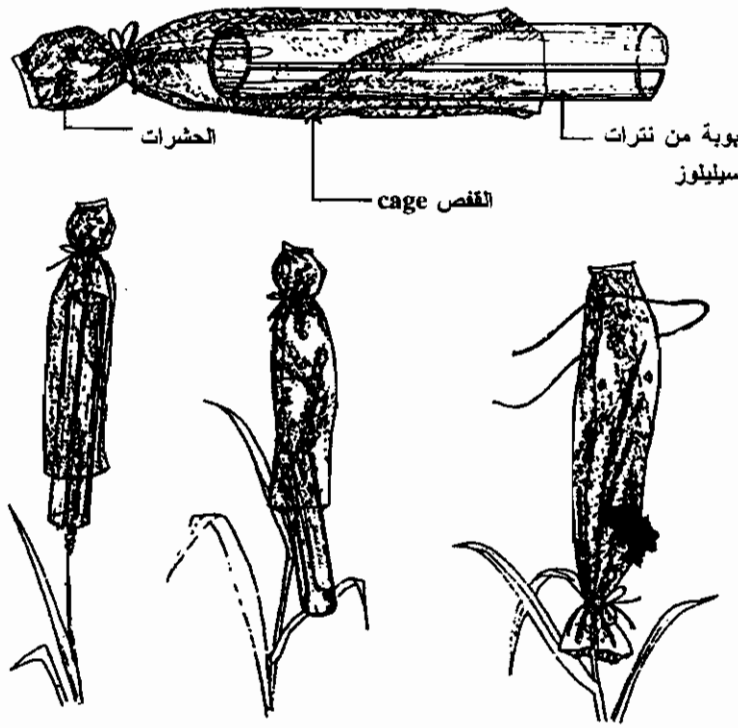
٢ – التقييم فى الأقفاص الحقلية field cage screening:

قد يكون التقييم فى الأقفاص cages الحقلية ضروريًا لمنع هجرة الحشرة من النباتات التى يجرى تقييمها، وكذلك لحمايتها من الأعداء الطبيعية. قد يكون القفص كبيرًا ويتسع لعديد من النباتات وقد يكون صغيرا ويتسع لنبات واحد أو حتى لجزء من النبات (شكلا ١٢–١، و ١٢–٢). وقد يتكون هيكل القفص من الخشب أو الألومنيوم أو الحديد، وقد يغطى بالشباك السلكية أو بالساران saran، كما قد تصنع الأقفاص الصغيرة من البوليستر أو أقمشة النيلون أو البولى بروبلين، وقد تكون على صورة أنابيب تتسع للورقة النباتية (شكل ١٢–١) أو أكمام sleevs تتسع لفرع من النبات أو لقمته النامية (شكل ١٢–٢).

هذا .. وربما تؤثر بعض الأقفاص على الظروف البيئية داخل القفص بما يغير من النمو النباتى أو من سلوك الحشرة. وقد يتسبب فى حدوث إصابات مرضية شديدة (عن Smith وآخرين ١٩٩٤).



شكل (١٢–١): قفص cage حقلى يستعمل لأجل إبقاء يرقات حشرة *Leptinotarsa decemlineata* على أوراق جنس البطاطس *Solanum* spp. (عن Smith وآخرين ١٩٩٤).



شكل (١٢-٢): أقفاص cages حقلية خاصة تستعمل لأجل إبقاء حشرة *Oebalus pugnax* البالغة على نباتات الأرز.

٣ - التقييم فى البيوت المحمية

على الرغم من محدودية أعداد السلالات والنباتات التى يمكن تقييمها للمقاومة فى البيوت المحمية، فإن نتائج التقييم تكون - عادة - أقل تباينًا من تلك التى تجرى تحت ظروف الحقل؛ بسبب إمكان التحكم فى الظروف البيئية وفى كثافة التواجد الحشرى (عن Singh ١٩٩٣).

تسمح اختبارات البيوت المحمية بإجراء التقييم فى أى وقت، وعلى أى مستوى من الإصابة يكون مرغوبا فيه. وإذا أجرى الاختبار فى طور البادرة فإنه يكون فى الإمكان تقييم أعداد كبيرة من النباتات.

ويتم فى اختبارات البيوت المحمية نقل الآفة إلى الصوبة لكى تتكاثر بداخلها، أو قد يعدى كل نبات فيها بعدد معين من الحشرات.

وبينما يسمح التقييم فى البيوت المحمية بالتحكم بقدر أكبر فى انتخاب النباتات المقاومة، فإنه يحد من مقدار الجيرمبلازم الذى يمكن تقييمه فى فترة زمنية معينة.

وفى جميع الأحوال فإن اختبارات الصوبة والحقل تعد مكملة لبعضها؛ حيث يلزم غالبا تكرار اختبارات الصوبة فى الحقل؛ للتأكد من المقاومة تحت الظروف الطبيعية (عن Painter ١٩٥١، و Russell ١٩٧٨).

وتُجرى اختبارات التقييم إما على أساس الاختيار الحر للحشرة أو عدم الاختيار، كما يلى:

قد يجرى الاختبار بطريقة لا تدع للحشرة مجالاً للاختيار بين الأصناف المقَيمة، بحيث يصل إلى نباتات كل صنف أعدادًا متساوية من الحشرة، مع فصل نباتات كل صنف - فيزيائيًّا - عن الأصناف الأخرى، وهو ما يعرف باختبار عدم الاختيار (أو عدم التفضيل) non-choice (no-preference) test. وذلك مقارنة باختبار الاختيار (أو التفضيل) choice (preference) test، وهو الذى تُتاح للحشرة فيه التنقل بين النباتات المقيمة من مختلف التراكيب الوراثية. وجدير بالذكر أن النبات الذى قد يوصف بأنه مقاوم فى choice test، قد يكون قابلاً للإصابة فى no-choice test.

إن اختبار عدم الاختيار يؤمن توزيعًا متجانسًا للحشرات المستخدمة فى الاختبار على جميع الأصناف المقيمة - دونما اعتبار لما إذا كانت مقاومة أو قابلة للإصابة - وذلك من بداية اختبار التقييم إلى نهايته. مع تجنب أى احتمال للإفلات من الإصابة الحشرية.

وكمثال على أهمية التمييز بين نتائج اختبارات الاختيار وعدم الاختيار .. تبين لدى تقييم ١٠ أصناف من الأرز لمقاومة نطاط النباتات *Sogatella furcifera* أن الصنف Podini A8 كان متوسط المقاومة والصنف N22 كان مقاومًا فى اختبار الاختيار choice test، بينما تأكد من اختبار عدم الاختيار no-choice test أن الصنف الأول كان قابلاً للإصابة وأن الصنف الثانى كان متوسط المقاومة.

٤ - التقييم المعملى

قد يحتاج الأمر أحيانًا إلى إجراء تقييم معملى لزيادة التحكم فى كافة العوامل التى يمكن أن تؤثر فى عملية التقييم. ولا يُلجأ إلى التقييم المعملى - عادة - إلاّ كوسيلة مؤكدة وسريعة لتأكيد نتائج تقييم سابق أُجرى تحت ظروف الحقل أو البيوت المحمية.

لا يكون من العمليّ استعمال نباتات كاملة فى عمليات التقييم المعملى، وإنما تُستخدم - غالبًا - أوراق مفصولة أو أقراص ورقية تؤخذ من الأوراق باستخدام ثاقبات فلين. وعلى الرغم من أن أبحاثا عديدة أكدت على عدم وجود فروق بين نتائج التقييمين الحقلى والمعملى، إلا أنه أصبح معلومًا بصورة جلية أن الأضرار الفيزيائية التى تحدث بالنبات (مثل فصل الورقة أو قطع قرص منها باستعمال ثاقبة فلين ... إلخ) يترتب عليها سلسلة من التغيرات الجوهرية بالنبات، يمكن أن تقلل أو تزيد من صلاحية النبات كغذاء للحشرة، ويمكن أن تؤثر فى قدرة الحشرة على التكاثر والبقاء.

كما يفيد استخدام مزارع الأنسجة فى التقييم لمقاومة الحشرات فى الحالات التى تحدث فيها المقاومة بسبب احتواء النباتات على مركبات كيميائية معينة تؤثر فى نمو وتطور الحشرة (أى فى حالات الـ antibiosis). ويوفر اختبار مزارع الأنسجة فرصة جيدة للتحكم فى كافة العوامل البيئية التى يمكن أن تؤثر فى نتائج الاختبارات الأخرى.

وتستخدم - عادة - أنسجة الكالس الخاصة بالتراكيب الوراثية التى يُراد تقييمها فى تغذية الحشرات المعنية، ولقد اتبعت - بالفعل - تلك الطريقة فى اختبار جيرمبلازم الذرة وحشيشة برمودا والأرز لعديد من الأنواع الحشرية والتى ثبت فيها توافق نتائج اختبارات مزارع الأنسجة مع نتائج الاختبارات الحقلية.

ثانيًا: التقييم على أساس الاستجابات الحشرية للنباتات

يؤخذ فى الحسبان عدد من الاستجابات الحشرية السلوكية والفسيولوجية عند تطوير اختبار للمقاومة يبنى على أساس الاستجابات الحشرية. وعلى الرغم من أهمية كل نوع

من الاستجابات الحشرية – على حدة – فى الإسهام فى صفة المقاومة، فإن محصلة كل الاستجابات – مجتمعة – هى التى تحدد مستوى المقاومة. ونتناول بالشرح – فيما يلى – نوعيات تلك الاستجابات.

١ – التوجه نحو العائل والاستقرار عليه:

على الحشرة أن تجد النبات أولا وتبقى عليه قبل أن تتمكن من التغذية، ووضع البيض، والتمكن من المعيشة عليه. ويتضمن توجه الحشرة نحو النبات عدة محفزات منظورة أو كيميائية تنبعث من النبات، ويمكن أن تدركها الحشرة من على مسافة قبل ملامستها للنبات. ويؤدى التوجه الحشرى الإيجابى نحو النبات إلى وصول الحشرة إليه واحتمال استقرارها عليه، بينما يؤدى التوجه الحشرى السلبى نحو النبات إلى نفورها منه.

ويتم قياس التوجه الحشرى وعملية الاستقرار على النبات – عادة – عن طريق اختبارات الاختيار choice tests بملاحظة أعداد الأفراد الحشرية التى تتوجه – ابتداء – نحو النبات. ثم تبقى عليه لبعض الوقت للتغذية ووضع البيض. وبينما تستغرق عملية التوجه دقائق معدودة إلى حوالى الساعة من وقت إطلاق الحشرة. فإن استقرارها يستغرق – عادة – وقتًا أطول.

٢ – التغذية:

يفيد قياس التغيرات فى سلوك تغذية الحشرة على كل من النباتات المقاومة والقابلة للإصابة فى التعرف على مصادر المقاومة فى برامج التربية. ويختلف نوع الضرر الذى تحدثه الحشرة حسبما إذا كانت من الحشرات الثاقبة الماصة، أم من الحشرات القارضة.

تُحدث الحشرات الثاقبة الماصة (مثل المن ونطاطات الأوراق ونطاطات النباتات والذباب الأبيض) أضرارها بامتصاصها لكميات كبيرة من العصير النباتى من النسيج الوعائى – وخاصة اللحاء – وكذلك من جراء نقلها لبعض الفيروسات أثناء تغذيتها.

أما الحشرات القارضة فإنها تستهلك عائلها بالقرض المباشر.

٣ – النمو الحشرى:

تُعد تغذية الحشرة وأيض الغذاء الذى تستهلكه من أهم دلائل المقاومة والقابلية للإصابة.

٤ – فترة حياة الطور البالغ ومدى خصوبته وعدد البيض الذى تضعه كل أنثى.

٥ – اختيار الحشرة للموقع المناسب لها لوضع البيض oviposition.

٦ – قدرة البيض على الفقس egg hatchability.

٧ – الزيادة فى حجم عشيرة الحشرة (عن Smith وآخرين ١٩٩٤).

وراثة المقاومة

يمكن أن تكون وراثة المقاومة للحشرات والأكاروسات على أية صورة من الصور التى سبقت دراستها بالنسبة لمقاومة الأمراض، فهى قد تكون بسيطة، أو كمية، أو oligogenic (أى يتحكم فيها عدد قليل من الجينات الرئيسية)، وقد تكون جينات المقاومة سائدة، أو متنحية، أو ذات تأثير إضافى (جدولا ١٢–٢، و ١٢–٣).

ويتحكم – أحيانا – جين واحد فى مركب ما – يعد مادة أولية Precourser – لتمثيل سلسلة من المركبات الأخرى التى قد يكون بعضها مسئولا عن مقاومة الآفة. وفى حالات كهذه .. قد تكون المقاومة بسيطة (إذا تحكم جين واحد فى تمثيل المادة الأولية). ولكنها تظهر فى عدة صور. كذلك قد يتحكم جين آخر فى تمثيل مركب ثان يعمل بدورة كمادة أولية لتمثيل سلسلة المركبات التى قد تتشابه أو تختلف مع مركبات السلسلة الأولى؛ وبذا .. يمكن أن يتحكم فى المقاومة زوجان من الجينات غير الآليلية اللذان قد يكونان مسئولين عن نظامين مختلفين أو نظام واحد للمقاومة.

وجدير بالذكر أن المقاومة للحشرات أو الأكاروسات قد تكون تامة أو جزئية. ولا يجب إهمال النوع الثانى فى غياب المقاومة التامة للحشرة. لأن المقاومة الجزئية قد تغنى عن الرش بالمبيدات، وتفيد فى مكافحة الآفة إذا وجدت بأعداد قليلة. إلا أن المقاومة الجزئية لا تفيد إذا وجدت الآفة بأعداد كبيرة. أو إذا أصابت الجزء المستعمل فى الغذاء.