الفصل الثامن

تربية الخضر لمقاومة الأمراض

تُعد التربية لمقاومة الأمراض أحد أهم أهداف تربية الخضر، وهى التى نالت اهتمام المربين منذ بدايات القرن الماضى. ونتناول هذا الموضوع بالشرح من جانبين رئيسيين، هما: التقييم للمقاومة، ووراثة المقاومة. أما التفاصيل الكثيرة الأخرى المتعلقة بهذا الموضوع فيمكن الرجوع إليها فى حسن (٢٠٠٨).

الخصائص النباتية المؤثرة فى كفاءة عملية التقييم للمقاومة ونتائجها

تتأثر كفاءة التقييم لمقاومة الأمراض بعدد من العوامل التى يجب مراعاتها والاستفادة منها — إن وجدت — ليمكن تقييم أكبر عدد من النباتات فى أقصر وقت ممكن، وبأسهل طريقة ممكنة، ولتكون نتائج التقييم صحيحة، ويمكن تكرارها والاعتماد عليها فى انتخاب النباتات المقاومة خلال مراحل برامج التربية.

تأثير عمر النبات فى مقاومته للأمراض

تتأثر المقاومة فى كثير من الأمراض بعمر النبات، وهو أمر يجب وضعه فى الحسبان عند إجراء اختبارات التقييم، ومن أمثلة ذلك ما يلى (عن Yarwood ١٩٥٩):

١- تكون النباتات عمومًا أكثر قابلية للإصابة بالذبول الطرى فى طور البادرات، وبالأصداء فى عمر متوسط، وبالفطر رايزوبس *Rhizopus* فى طور الشيخوخة.

٢- تزداد مقاومة بعض الأمراض بتقدم النبات فى العمر، كما فى مقاوم البكتيريا *Erwinia* فى الخس، ومقاومة الفطر *Phytopthora* فى البطاطس.

٣- تزداد القابلية للإصابة ببعض الأمراض بتقدم النبات فى العمر، كما فى حالتى البياض الزغبى (*Pseudoperonospora*) فى الخيار أو البياض الدقيقى (*Erysiphe*) فى الخس.

٤- تزداد القابلية للإصابة بالمرض فى الأطور المبكرة والمتأخرة من النمو، بينما تزداد المقاومة فى الأعمار المتوسطة كما فى حالة المقاومة لفطر الفيوزاريم فى البطاطس

٥- تزداد مقاومة المرض فى الأطور المبكرة والمتأخرة، بينما تزداد القابلية للإصابة فى الأعمار المتوسطة فى بعض الأمراض، كما فى حالة مقاومة البطاطس للبكتيريا *Erwinia*،و مقاومة الفاصوليا لكل من فطر الصدأ (*Uromyces*)، وفيرس موزايك التبغ

وعمومًا . يمكن — بشئ من التحفظ — القول بأن المقاومة للرميات الاختيارية Facultative Saprophytes تزيد بزيادة عمر أنسجة العائل، بينما تنخفض المقاومة للطفيليات الإجبارية Obligate Parasites بتقدم النبات فى العمر

الارتباط بين مقاومة البادرات ومقاومة النباتات البالغة

يُفضل دائمًا إجراء اختبارات المقاومة للأمراض فى طور البادرة، حيث يمكن تقييم أعداد كبيرة من النباتات بسهولة، خلال فترة قصيرة، وفى مساحة صغيرة. ولا ضير فى ذلك إذا كان المرض من تلك التى تظهر على البادرات مثل الذبول الطرى، أما فى حالة الأمراض الخاصة بالنباتات البالغة فإنه يلزم توفر ارتباط قوى بين مقاومة البادرات ومقاومة النباتات البالغة؛ ليمكن إجراء التقييم فى طور البادرة. ومن أمثلة ذلك حالة المقاومة للفطر *Phytophthora parasitica* المسبب لمرض عفن الجذر والتاج الفيتوفثورى فى الطماطم، حيث قيّم Blaker & Hewitt (١٩٨٧) النباتات بعدوى البادرات وهى فى مرحلة نمو الورقة الحقيقية الأولى، وكان التقييم للمقاومة على أساس موت أو بقاء البادرات، ووجدا أن هذا الاختبار يفيد فى التنبؤ بمقاومة النباتات البالغة.

كذلك أوضحت دراسات Dickson & Hunter (١٩٨٧) أن سلالة الكرنب P1436606 تقاوم البكتيريا *Xanthomonas campestris* pv. *campestris* — المسببة لمرض العفن الأسود — فى كل من طورى البادرة والنبات البالغ. وقد اكتشفا مقاومة هذه

السلالة لدى اختبارهما لمعظم أصناف وسلالات الكرنب العالية التى تحتفظ بها وزارة الزراعة الأمريكية.

وقد توصل Thomas وآخرون (١٩٨٧) إلى أن شدة الإصابة بالبياض الزغبى فى القاوون على الورقتين الحقيقيتين الأولى والثانية (معبرًا عنها برقم زوجى تمثل فيه خانة الآحاد شدة الإصابة على الورقة الأولى، وتمثل خانة العشرات شدة الإصابة على الورقة الثانية) تحت ظروف الصوبة يمكن أن تستخدم فى التنبؤ بشدة الإصابة فى النباتات البالغة تحت ظروف الحقل.

ويذكر Lower & Edwards (١٩٨٦) أنه تجرى اختبارات — فى طور البادرة — لثمانية من المسببات المرضية فى الخيار، وهى:

نوع المسبب المرضى	المرض	المسبب المرضى
فطر	الأنثراكنوز	*Colletotrichum lagenarium*
فطر	البياض الزغبى	*Pseudoperonospora cubensis*
فطر	الذبول الفيوزارى	*Fusarium oxysporum*
فطر	الجرب	*Cladosporium cucumerinum*
فطر	البياض الدقيقى	*Sphaerotheca fuliginea*
بكتيريا	الذبول البكتيرى	*Erwinia tracheiphila*
بكتيريا	تبقع الأوراق الزاوى	*Pseudomonas lachrymans*
فيرس	موزايك الخيار	*Cucumber Mosaic Virus*

يجرى الاختبار ضد الذبول الفيوزارى بزراعة البذور فى أحواض مملوءة بالرمل الملوث بالفطر المسبب للمرض، ويجرى التقييم ضد مرضى البياض الدقيقى والموزايك فى مرحلة نمو الورقة الحقيقية الأولى أو الثانية، أما بقية المسببات المرضية.. فتجرى اختبارات التقييم لها فى مرحلة نمو الأوراق الفلقية.

هذا.. وقد لفت Rahe (١٩٨١) الانتباه إلى الحالات المرضية التى لا ترتبط فيها نتائج اختبارات المقاومة فى الحقل بنتائج الاختبارات المعملية.

وقد يُحدث المسبب المرضى الواحد مرضين مختلفين للمحصول الواحد، ولا يشترط — فى هذه الحالة — أن تكون المقاومة الوراثية واحدة لكلا المرضين. ومن أمثلة ذلك الفطر *Rhizoctona solani* الذى يصيب نباتات الخيار بمرضين هما: الذبول الطرى، وعفن الثمار الرايزكتونى (أو عفن وسط الثمرة Belly Rot)، حيث وجد Booy وآخرون (١٩٨٧) تباينًا كبيرًا بين ٣٥ سلالة من الخيار فى شدة إصابتها بالذبول الطرى التى تراوحت من ١,٥ إلى ٥,٩ على مقياس من صفر (لا توجد أية إصابة) إلى ٩ (موت النباتات)، بينما لم يجدوا أى ارتباط بين المقاومة لهذا المرض والمقاومة لعفن الثمار الرايزكتونى.

تقييم المقاومة على أساس أنها مرتبطة بصفات نباتية أخرى ظاهرة

من أبرز الأمثلة على الارتباط بين صفة المقاومة وصفة نباتية ظاهرة مقاومة البصل لمرض التهيب أو الاسوداد، حيث ترتبط المقاومة العالية بلون الأبصال الأحمر، والمتوسطة بلون الأبصال الوردى، بينما ترتبط القابلية للإصابة بلون الأبصال الكريمى والأبيض (عن Jones & Mann ١٩٦٣).

كذلك تبين وجود ارتباط بين جين الطماطم Pto المسئول عن المقاومة للبكتيريا *Pseudomonas syringae* pv. *tomato* والحساسية للمبيد الحشرى العضوى الفوسفورى ليبايسيد Lebaycid (الذى يحتوى على المادة الفعالة fenthion). ففى عام ١٩٨٤ لاحظ H. Laterrot (Laterrot ١٩٨٥) وجود بقع كثيرة جدًا ومتحللة على أوراق وأزهار جميع نباتات الطماطم الحاملة للجين Pto بعد أيام قليلة من رشها بالمبيد Lebaycid بهدف مكافحة صانعات الأنفاق *Liriomyza* sp.، واقترح متابعة الجين Pto فى عشائر التربية عن طريق اختبار حساسيتها للفنثيون fenthion. ولم يكن يعرف — حينئذٍ — ما إذا كانت الصفتان يتحكم فيهما جينين مرتبطين بشدة، أم أنهما كانا راجعين إلى تأثير متعدد للجين Pto، ولكن تبين بعد ذلك صحة الافتراض الأول، وأمكن فصل الجينين Pto، و Fen عن بعضهما البعض (عن Pedley & Martin ٢٠٠٣)

إجراء اختبار التقييم بأكثر من سلالة من المسبب المرضى أو بأكثر من مسبب مرضى

إمكانية تقييم المقاومة لأكثر من سلالة من المسبب المرضى على النبات الواحد

يمكن اختبار مقاومة النبات الواحد لعدد من سلالات المسبب المرضى (فى حالة تلك التى تصيب الأوراق) بإحدى طريقتين، كما يلى:

١- بعدوى الأوراق المتتالية فى الظهور بسلالات مختلفة من المسبب المرضى، وهى طريقة أفادت مع صدأ الكتان، ولكنها أعطت نتائج متباينة مع فطريات أخرى.

٢- بعدوى الورقة الواحدة — فى مواضع مختلفة — بسلالات مختلفة من المسبب المرضى، وهى طريقة تفيد مع المسببات المرضية التى تحدث بقعًا صغيرة لا تكون محاطة بهالات صفراء كبيرة (عن Dhingra & Sinclair ١٩٨٥).

إمكانية تقييم المقاومة لأكثر من مرض على النبات الواحد

يمكن فى حالة التربية لمقاومة عديد من الأمراض عدوى النبات الواحد بأكثر من مسبب مرضى، فمثلاً.. تمكن Frazier من عدوى نباتات الطماطم — فى تتابع — بكل من مسببات أمراض الذبول الفيوزارى (فطر)، والذبول المتبقع (فيرس)، وتبقع أوراق استمفيللم (فطر)، وتعقد الجذور (نيماتودا) (عن Andrus ١٩٥٣). إلا أنه يجب توخى الحرص عند إجراء اختبارات كهذه؛ إذ قد يوجد تنافس بين مختلف مسببات الأمراض، وقد تؤدى الإصابة بأحد الأمراض إلى جعل النبات أكثر مقاومة، أو أكثر قابلية للإصابة بأمراض أخرى.

ويعد التفاعل بين الفطر المسبب للذبول الفيوزارى ونيماتودا تعقد الجذور فى الطماطم من الأمثلة الكلاسيكية لتأثير التفاعل بين المسببات المرضية على المقاومة.

إن تعرض نباتات الطماطم للإصابة بنيماتودا تعقد الجذور (فى غياب الجين Mi) يهيئها ويجعلها عرضة للإصابة بالذبول الفيوزارى حتى فى وجود الجين I الذى يُكسب النباتات مقاومة لهذا المرض، وعليه.. فلو فُرِض وكان الانعزال فى كلا الجينين معًا (الانعزال للتركيب الوراثى Mimi Ii)، فإن الانعزال المتوقع فى وجود كلا المسببين المرضيين (نيماتودا تعقد الجذور *Meloidogyne incognita*، والفطر المسبب للذبول الفيوزارى *Fusarium oxysporum* f. sp. *lycopersici*) فى الجيل الثانى وهو: ٩ : ٣ : ٣ . ١ (مقاوم لكليهما: مقاوم للنيماتودا وقابل للإصابة بالذبول: قابل للإصابة بالنيماتودا ومقاوم للذبول. قابل للإصابة بكليهما) يُحوَّر إلى ٩ : ٣ : ٤ (مقاوم لكليهما: مقاوم للنيماتودا وقابل للإصابة بالذبول. قابل للإصابة بكليهما)، ذلك لأن الفئة التى كان يفترض مقاومتها للذبول فقط تصبح — فى غياب جين المقاومة للنيماتودا — مع حدوث الإصابة بها — قابلة للإصابة بالذبول (عن Webster ١٩٨٥)

تأثير العوامل البيئية فى مقاومة النباتات للأمراض

تتأثر مقاومة النباتات للأمراض بعديد من العوامل البيئية سواء أكانت جوية (مثل. الحرارة، والرطوبة، والضوء) أم أرضية (مثل: درجة حرارة التربة، والرطوبة الأرضية، وقوام التربة، والعناصر الغذائية). كما يدخل موعد الزراعة ضمن العوامل البيئية المؤثرة فى المقاومة، لما لموعد الزراعة من علاقة مباشرة بمختلف العوامل البيئية. ويلزم التمييز بين تأثير العوامل البيئية السابقة للعدوى والإصابة المرضية، وتأثير العوامل أثناء حدوث الإصابة المرضية.

أولاً: تأثير العوامل البيئية السابقة للعدوى فى المقاومة

تؤثر الظروف البيئية السابقة للعدوى على قابلية النباتات للإصابة بالأمراض، وهو ما يعرف باسم Predisposition، كما يلى:

١- درجة الحرارة:

تتأثر قابلية النباتات للإصابة بالأمراض — كثيرًا - بدرجة الحرارة التى تتعرض لها النباتات قبل العدوى، ومن أمثلة ذلك ما يلى:

أ- يؤدى غمس جذور الطماطم فى الماء الساخن قبل العدوى بفطر الفيوزاريم إلى تقليل الإصابة بالذبول.

ب- يؤدى تعريض أوراق الفاصوليا لدرجة حرارة ٥٥°م لمدة ١٠ ثوان إلى خفض إصابتها بفيرس موزايك التبغ.

ج- يؤدى تعريض نباتات الفول الرومى والخس للصقيع إلى زيادة أضرار الإصابة بفطر *Botrytis*.

د- وجد أن تعرض النباتات لدرجة حرارة ٣٦°م — لمدة تتراوح من يوم إلى يومين — يزيد من قابليتها للإصابة بالفيروسات التى تنتقل ميكانيكيًا (Yarwood ١٩٥٩).

٢- شدة الضوء والفترة الضوئية:

يؤدى تظليل النباتات، أو تعريضها للظلام إلى زيادة قابليتها للإصابة بالفيروسات التى تنقل إليها بالطرق الميكانيكية. وبرغم أن التظليل يقلل من سمك طبقة الأديم بخلايا البشرة؛ مما يجعلها أكثر قابلية للتجريح والإصابة بالطرق الميكانيكية، إلا أن الأمر ليس بهذه البساطة؛ إذ إن التعريض للظلام لمدة يوم واحد يكون فعالاً أيضًا فى زيادة القابلية للإصابة، بينما لا تكفى تلك الفترة لإحداث تغيرات أساسية فى أنسجة الورقة.

كذلك وجد أن خفض شدة الإضاءة قبل العدوى يزيد من قابلية الطماطم للإصابة بالذبول الفيوزارى، وقابلية الخس والطماطم للإصابة بالفطر *Botrytis*.

كما وجد أن تعريض نباتات الطماطم لنهار قصير قبل العدوى يزيد من قابليتها للإصابة بالذبول الفيوزارى.

٣- العناصر السمادية.

تؤثر جميع العناصر الغذائية — سواء أكانت عناصر كبرى، أم صغرى — فى قابلية النباتات للإصابة بالأمراض، وأهمها عناصر النيتروجين، والفوسفور، والبوتاسيوم، التى يمكن إيجاز تأثيرها — السابق للعدوى — فيما يلى:

أ- تؤدى زيادة النيتروجين إلى زيادة القابلية للإصابة بالأمراض بصورة عامة، إلا أنها تقلل القابلية للإصابة بأمراض معينة؛ كما فى الذبول الفيوزارى فى الطماطم

ب- تؤدى زيادة الفوسفور إلى زيادة القابلية للإصابة فى بعض الحالات، مثل: فيرس موزايك الخيار فى الخيار، وفيرس موزايك التبغ فى الفاصوليا، كما أنها تؤدى إلى ضعف القابلية للإصابة فى حالات أخرى؛ كما فى الذبول الفيوزارى فى الطماطم

ج- تؤدى زيادة البوتاسيوم إلى خفض القابلية للإصابة بالأمراض بصورة عامة، إلا أنها تزيد القابلية للإصابة بأمراض معينة؛ كما فى الذبول الفيوزارى فى الطماطم

ثانياً: تأثير العوامل البيئية السائدة أثناء وبعد العدوى فى المقاومة

من أهم العوامل البيئية المؤثرة فى المقاومة للأمراض فى النباتات ما يلى:

درجة الحرارة

لدرجة الحرارة تأثير فى مقاومة الأمراض فى النباتات، ومن أبرز الأمثلة على ذلك ما يلى.

أ- المقاومة للاصفرار (الذبول الفيوزارى) فى الكرنب

يتوفر نوعان من المقاومة للفطر *Fusarium oxysporum* f. *conglutinans* المسبب لمرض الاصفرار فى الكرنب، إحداهما كمية (طراز B) وتمثلها المقاومة التى توجد فى الصنف Wisconsin Hollander، والأخرى بسيطة (طراز A)، وهى توجد — مصاحبة للمقاومة الكمية — فى الصنف Wisconsin All Seaeons.

ويمكن التمييز بسهولة بين نوعى المقاومة بالتحكم فى درجة حرارة التربة أثناء اختبار المقاومة فى مرحلة نمو البادرة. ففى حرارة ثابتة مقدارها ٢٤°م .. تصاب جميع النباتات القابلة للإصابة، وكذلك جميع النباتات التى تحمل المقاومة الكمية، بينما لا تصاب النباتات التى تحمل المقاومة البسيطة، سواء أكانت أصيلة، أم خليطة. وإذا ارتفعت الحرارة إلى أكثر من ٢٨°م .. فإن جميع التراكيب الوراثية تصاب بالمرض، بما فى ذلك النباتات الحاملة للمقاومة البسيطة، ولا تكون المقاومة الكمية فعالة إذا ارتفعت حرارة التربة عن ٢٢°م، بينما إذا انخفضت الحرارة عن ٢٢°م .. فإنه لا تصاب سوى النباتات القابلة — وراثيًا — للإصابة، أى التى لا تحمل أيًا من طرازى المقاومة. وإذا استمر انخفاض الحرارة إلى ١٨°م .. تتوقف إصابة النباتات القابلة للإصابة كذلك.

ويمكن التمييز بين النباتات القابلة للإصابة والنباتات ذات المقاومة الكمية بإجراء اختبار المقاومة فى حرارة مقدارها ٢٤°م (عن Walker ١٩٥٧).

وقد احتفظت أصناف الكرنب المقاومة (التى أنتجها J. C. Walker ومعاونوه) بمقاومتها لأكثر من ٧٠ عامًا. واستخدمت تلك الأصناف كمصدر لمقاومة المرض فى عديد من برامج التربية. ولكن اكتشفت فيما بعد سلالة جديدة من الفطر فى كاليفورنيا (السلالة رقم ٢) كانت قادرة على إصابة النباتات الحاملة لطراز المقاومة البسيطة (طراز A) حتى عند انخفاض حرارة التربة إلى ١٤°م، بينما لم تكن السلالة الأولى قادرة على إحداث الإصابة فى تلك الظروف (Bosland & Williams ١٩٨٧).

وقد درس Bosland وآخرون (١٩٨٨) تأثير درجة حرارة التربة — عندما تراوحت من ١٠- ٢٤°م — على أعراض المرض، مع استخدام خمس سلالات فسيولوجية من الفطر المسبب للاصفرار. أجريت الدراسة فى أحواض زراعة خاصة temperature soil tanks، كما اختبرت عدة أصناف من الكرنب تحت الظروف الطبيعية فى كاليفورنيا فى حقول مصابة بالسلالة رقم ٢ من الفطر.

وقد أوضحت هذه الدراسة أن جميع السلالات المستعملة زادت قدرتها على إحداث الإصابة جوهريًا – فى عوائلها القابلة للإصابة – بارتفاع درجة حرارة التربة. وعند ١٠°م.. أحدثت السلالة رقم ٢ من الفطر *F. oxysporum* f. *conglutinans* إصابة طفيفة فى صنف الكرنب Golden Acre، وأحدث الفطر *F. oxysporum* f. *raphani* إصابة طفيفة كذلك فى صنف الفجل White Icicle. وكانت المقاومة البسيطة (طراز A) فى الكرنب عالية الكفاءة ضد السلالة رقم ١ من الفطر المسبب للاصفرار، إلا أن كفاءة تلك المقاومة ضعفت ضد السلالة رقم ٢، مع ارتفاع حرارة التربة من ١٤°م إلى ٢٠°م، وفقدت المقاومة فاعليتها تمامًا فى حرارة ٢٢°م، و ٢٤°م. أما المقاومة الكمية (طراز B).. فقد كانت عالية الكفاءة ضد السلالة رقم ١ من الفطر فى حرارة ٢٠°م، والأقل منها، بينما لم تكن فعالة ضد السلالة رقم ٢ إلا فى حرارة ١٠، و١٢°م فقط.

٢- مقاومة نيماتودا تعقد الجذور فى الطماطم

تعد السلالة PI128657من *S. peruvianum* هى مصدر المقاومة الأصلى لكل من *M. incognita*، و *M. javanica* ، و *M. arenaria*. وقد نقل منها الجين Mi الذى يتحكم فى المقاومة لهذه الأنواع إلى جميع أصناف الطماطم التجارية المعروفة بمقاومتها للنيماتودا

وقد أوضحت نتائج الدراسات التى قورنت فيها مقاومة هذه السلالة بمقاومة الصنف التجارى فى إف إن ٨ VFN8 أن مستوى تكاثر السلالة رقم ١ من *M. incognita* لم يختلف بينهما، سواء أكان الاختبار على ٢٥°م، أم ٣٢°م، مما يدل على أن الخلفية الوراثية للطماطم لم تؤثر فى المقاومة. كان كل من السلالة والصنف مقاومًا للنيماتودا فى حرارة ٢٥°م، ولكنهما كانا قابلين للإصابة فى ٣٢°م.

أما السلالة رقم PI126443 من النوع *S. glandulosum* والسلالة رقم PI270435 من النوع *S. peruvianum* (وكلاهما مقاوم لكل من *M. hapla*، و *M. incognita*)،

والسلالتان أرقام PI129152، و LA2157 من *S. peruvianum* (وكلاهما مقاوم للنوع *M. incognita* فقط) فقد كانت جميعها على درجة عالية من المقاومة للسلالة رقم ١ من *M. incognita* فى كل من درجتى الحرارة ٢٥°م و ٣٢°م. كما وجد أن سلالتين خضريتين (هما: 1-MH و 5-MH) من السلالة PI126440 للنوع *S. glandulosum* (وكلاهما مقاوم للنوع *M. hapla*) كانتا متوسطتين فى قابليتهما للإصابة بالنوع *M. javanica* فى ٢٥°م وشديدتى القابلية للإصابة فى حرارة ٣٢°م. وتدل هذه النتائج على وجود جين أو جينات أخرى غير الجين Mi تعطى مقاومة فى درجات الحرارة المرتفعة (Ammati وآخرون ١٩٨٦).

٣- المقاومة لفيرس موزايك الفاصوليا الأصفر فى البسلة

يتحكم فى مقاومة فيرس موزايك الفاصوليا الأصفر Yellow Bean Mosaic Virus فى البسلة عامل وراثى واحد يتأثر كثيرًا بدرجة الحرارة. فعند اختبار نباتات الجيل الثانى فى حرارة ١٨°م أو أقل.. تظهر أعراض المرض على النباتات الأصيلة القابلة للإصابة فقط؛ وبذا.. تكون المقاومة سائدة. ولكن إذا اختبرت نباتات الجيل الثانى فى حرارة ٢٧°م.. فإن أعراض المرض تظهر على جميع النباتات ما عدا النباتات الأصيلة فى صفة المقاومة فقط، وبذا.. تكون المقاومة متنحية. أى إنه يمكن عن طريق التحكم فى درجة الحرارة التمييز بين النباتات الأصيلة والنباتات الخليطة فى صفة المقاومة (Walker ١٩٦٦).

٤- المقاومة لفيرس موزايك الخيار فى السبانخ

إن نباتات السبانخ المقاومة لفيرس موزايك الخيار فى حرارة ١٦–٢٠°م تظهر عليها أعراض جهازيه للمرض فى حرارة ٢٨°م (عن Kiraly وآخرين ١٩٧٤).

الرطوبة الأرضية

ترتبط المستويات المرتفعة من الرطوبة الأرضية — عادة — بزيادة شدة الإصابة بالأمراض، وربما يرجع ذلك إلى أن توفر أغشية من الرطوبة يساعد على تحرك الجراثيم المتحركة وبالنسبة لصفة المقاومة فإن التربة الغدقة تضعف المجموع الجذرى بالاختناق، مما يضعف مقاومته للأمراض.

اختبارات التقييم الحقلية

يعتمد إجراء اختبارات التقييم الحلقية على انتشار المرض فى الحقل إما بصورة طبيعية، وإما بعد إحداث عدوى صناعية بالمسبب المرضى.

الاعتماد على الأوبئة الطبيعية

تجرى اختبارات التقييم تحت الظروف الطبيعية فى المناطق والمواسم التى يتواجد فيها المرض بحالة وبائية، ومن أمثلة ذلك ما يلى:

١- تختبر سلالات بنجر السكر لمقاومة فيرس تجعد القمة فى الولايات المتحدة فى الحقول المجاورة للحبوب الصغيرة التى تتكاثر فيها نطاطات الأوراق الناقلة للفيرس. وفى الربيع. تنتقل النطاطات الحاملة للفيرس من الحشائش المصابة إلى حقول التقييم، حيث تنقل إليها الفيرس، وتتكاثر عليها.

٢- تختبر سلالات البطاطس لمقاومة الندوة المتأخرة فى وادى تولكا Toluca بالمكسيك، حيث تتواجد عديد من سلالات الفطر المسبب للمرض فى المنطقة التى يسودها دائما جو مثالى لحدوث الإصابة (Russell ١٩٧٨).

٣- أكمن خلال موسمين من الإصابة الوبائية باللفحة النارية بولاية ميرلاند الأمريكية تقييم ٥٢٢ صنفًا من الكمثرى لمقاومة المرض، حيث أصيب ٨٨٪ منها بشدة، بينما كانت ٢٪ منها متوسطة القابلية للإصابة، و ٤٪ متوسطة المقاومة، و ٥٪ عالية المقاومة، و ٢٪ خالية تمامًا من أعراض للإصابة (Oitto وآخرون ١٩٧٠).

٤- أمكن تقييم أعداد كبيرة من أصناف وسلالات مزروعة وبرية بلغت ١٧٩٦ من جنس الطماطم *Solanum* spp. لمقاومة فيرس تجعد واصفرار أوراق الطماطم، و٩٦٨ من نوع القاوون *Cucumis melo*، و٤٥٧ من جنس البطيخ *Citrullus* ssp. لمقاومة فيرس اصفرار وتقزم القرعيات تحت ظروف طبيعية تنتشر فيها الذبابة البيضاء الحاملة لهذين الفيروسين بصورة وبائية (Hassan وآخرون ١٩٩٠، و ١٩٩١ أ، و١٩٩١ ب).

ويعيب على اختبارات التقييم للمقاومة تحت الظروف الطبيعية ما يلى:

١- يكون التقييم — دائمًا — لمقاومة خليط من سلالات المسبب المرضى، وليس لسلالة معينة منه. إلا أن التقييم يكون ضد جميع السلالات الهامة على أية حال، كما يمكن إجراء الاختبار فى مناطق معينة تنتشر فيها سلالات معينة من المسبب المرضى.

٢- احتمال إفلات بعض النباتات من الإصابة.

٣- احتمال زيادة أو نقص مستوى الإصابة بدرجة غير مقبولة.

٤- عدم القدرة على التحكم فى العمر النباتى الذى تجرى عنده الإصابة بالمسبب المرضى.

٥- احتمال الإصابة بأمراض أخرى، أو حشرات، أو التعرض لظروف بيئية قاسية يمكن أن تختفي أو تغير استجابة النباتات للإصابة بالمسبب المرضى المطلوب.

الاعتماد على العدوى الصناعية

يفضل عند إجراء العدوى الصناعية تحت ظروف الحقل زراعة نباتات مصابة بالمرض بين النباتات المختبرة لتكون مصدرًا دائما للعدوى، ويجرى ذلك — على سبيل المثال — فى اختبارات مقاومة القمح للفطر *Puccinia striiformis* المسبب لمرض الصدأ الأصفر، وبنجر السكر للفطر *Peronospora farinose* المسبب لمرض البياض الزغبى (عن Russell ١٩٧٨). أما توصيل المسبب المرضى بشكل مباشر إلى جميع النباتات فى الحقل، فإنه يتطلب كميات كبيرة من اللقاح.

ويلزم — فى حالة الأمراض التى تصيب أجزاء النبات الهوائية — إجراء العدوى فى الصباح الباكر، أو فى الأيام الملبدة بالغيوم. كذلك يحسن — فى الجو الجاف — رش النباتات بالماء بعد العدوى (عن Kiraly وآخرين ١٩٧٤).

ويمكن أن يستعمل فى اختبارات العدوى الحقلية رشاشات ظهرية فى المساحات الصغيرة، أو رشاشات محمولة على الجرارات عند ضغط ١٠ كجم/سم٢ فى المساحات الكبيرة، مع تنظيم وضع البشابير بحيث يرش كل خط من أعلى ومن جانبيه.

تجرى العدوى الحقلية فى بداية موسم النمو، وقد تكرر مرتين أو ثلاث مرات خلال الموسم، ويجب أن يتم ذلك فى وقت متأخر بعد الظهيرة حينما يكون من المتوقع حدوث ندى كثيف كذلك يفيد تشغيل نظام الرى بالرش — إن وجد — على فترات متقطعة لمدة ٢–٣ أيام بعد العدوى — فى توفير رطوبة حرة لإنبات الجراثيم (عن Dhingra & Sinclair ١٩٨٥).

وقد وجد Inglis وآخرين (١٩٨٨) أن استعمال اللقاح الجاف لحقن الفاصوليا بأى من الفطرين: *Colletotrichum lindemuthianum* المسبب للأنثراكنوز، أو *Phaeoisariopsis griseola* المسبب لتبقع الأوراق الزاوى كان مناسبًا لاختبارات التقييم تحت ظروف الحقل، بدلاً من الرش بجراثيم الفطر، الذى يتطلب تحضير المعلق الفطرى قبل وقت قصير من إجراء العدوى الصناعية، ويستلزم كميات كبيرة منه لعدوى المساحات الحقلية الكبيرة وقد استعمل الباحثون إما أوراقًا جافة لنباتات سبق عدواها بالفطر فى الصوبة، وإما مزارع مجففة للفطر على بيئة خاصة هى: Perlite-cornmeal V-8 juice agar. عُفِّرَت النباتات فى الحقل بأى من مصدرى العدوى، وكان كلاهما بنفس كفاءة العدوى بمعلق جراثيم الفطر فيما يتعلق باختبارات المقاومة الحقلية.

وتتميز أمراض الجذور والحزم الوعائية بإمكان عدوى الحقل بالمسبب المرضى مرة واحدة، ثم تكرار زراعته بنفس العائل سنويًا لإجراء اختبارات التقييم فيه أثناء برنامج

التربية. فمثلا.. قام Wallace & Wilkinson (١٩٦٥) بإجراء اختبارات التقييم للفطر *Fusarium solani* f. *phaseoli* — المسبب لمرض عفن الجذور الجاف فى الفاصوليا — فى حقل كان قد سبقت عدواه بالفطر فى عام ١٩١٨، وزرع بالفاصوليا سنويا منذ ذلك الحين.

هذا.. ويمكن الاستفادة من عديد من طرق الحقن (العدوى الصناعية) التى يأتى ذكرها فى الجزء التالى، فى نشر الإصابة المرضية تحت ظروف الحقل لأغراض تقييم مقاومة الأمراض.

طرق الحقن (العدوى الصناعية) لتقييم المقاومة فى البيوت المحمية (الصوبات)

تختلف طرق العدوى الصناعية التى تتبع لأغراض التقييم لمقاومة الأمراض تحت ظروف البيوت المحمية — حسب المرض — كما يلى:

عدوى النموات الورقية

تحقن النموات الخضرية بمسببات الأمراض بعديد من الطرق؛ منها: الرش، والتجريح، والتعفير، والحك، واستخدام فرشاة ملوثة بالمسبب المرضى مع استعمال معلق جراثيم فطرية، أو جراثيم جافة، أو معلق بكتيرى، أو مستخلصات لنباتات مصابة بالفيرس فى حالة اختبارات المقاومة للفيروسات.

لا تتطلب معظم مسببات الأمراض التى تصيب الأوراق جروحًا لكى تُحدث الإصابة؛ إذا إن معظمها يخترق الأوراق عن طريق الثغور، أو مباشرة من خلال خلايا البشرة، أو عند أماكن التصاق خلايا البشرة المتجاورة. وعندما تحدث الإصابة من خلال الثغور تجب إضافة اللقاح إلى السطح الورقى الذى توجد به أقصى كثافة للثغور، مع تحضين النباتات فى ظروف تسمح ببقاء الثغور مفتوحة، وبإنبات الجراثيم أو الخلايا البكتيرية.

ونذكر — فيما يلى — طرق الحقن المتبعة فى هذا الشأن سواء أكانت طرقًا عامة، أم خاصة بمسببات مرضية معينة.

عدوى الأوراق الفلقية

تتم أحيانا عدوى الأوراق الفلقية بالمسببات المرضية بهدف الانتهاء من اختبار التقييم فى أيام قليلة بعد الإنبات مباشرة، وبذا.. يمكن تقييم أعداد كبيرة من النباتات فى وقت قصير، وفى مساحة صغيرة. وتجب فى هذه الحالة مقارنة النتائج المتحصل عليها من اختبار عدوى الأوراق الفلقية بنتائج اختبار آخر تحقن فيه النباتات بطريقة تماثل الإصابة بالطريق الطبيعى، حتى لا تكون نتائج الاختبار مضللة.

وأهم ما يعيب العدوى بهذه الطريقة أن الأوراق الفلقية ربما لا تحتوى على المنافذ الطبيعية للإصابة بالمسبب المرضى، ويترتب على ذلك تصنيف بعض النباتات أو الأصناف على أنها مقاومة، بينما هى قابلة للإصابة، أو العكس.

وقد اتبعت هذه الطريقة فى تقييم السبانخ لمقاومة فيرس الخيار رقم ١ Cucumber Virus 1 (Webb ١٩٥٥)، والطماطم لمقاومة البكتريا *Corynebacterium michiganense* المسببة لمرض التقرح البكتيرى (Hassan وآخرون ١٩٦٨).

عدوى الأوراق بالفطريات

بالنسبة للأمراض الفطرية التى تصيب الأجزاء الهوائية للنبات فإن العدوى الصناعية قد تجرى بالرش بجراثيم أو هيفات الفطر، وهى معلقة فى الماء، أو فى زيت معدنى، فتستخدم معلقات الفطر فى الماء فى حالة الفطريات الطحلبية، ولكن الماء يكون ضارًا لفطريات أخرى مثل فطريات البياض الدقيقى والأصداء، ولذا.. فإنها تعلق فى الزيوت المعدنية.

كما يمكن تعفير النباتات بالجراثيم الجافة للفطريات، وقد تستخدم لذلك فرشاة طلاء، أو أجهزة خاصة تُحمل فيها الجراثيم مع تيار من الهواء لتتوزع بتجانس على النباتات التى يُراد اختبارها. وغالبًا ما تخلط الجراثيم ببودرة التلك لتأمين تجانس توزيعها.

ويلزم فى كثير من الحالات إبقاء النباتات فى رطوبة نسبية عالية تقترب من ١٠٠٪ لمدة ١٢– ٢٤ ساعة بعد العدوى لتحفيز الإصابة والتجرثم. ويتحقق ذلك — تحت ظروف الحقل — إما عن طريق الرى بالرش، وإما بتنكيس نواقيس زجاجية على النباتات المعاملة، التى يُستفاد منها بعد ذلك فى انتشار الإصابة فى الحقل.

وقد أوضح Tu & Poysa (١٩٩٠) أن عدوى أوراق نباتات الطماطم التى يراد اختبارها لمقاومة مرض تبقع الأوراق السبتورى بفرشاة سبق غمسها فى معلق لجراثيم الفطر *Septoria lycopersici* كان أفضل من غمس الأوراق فى المعلق أو رشها به مباشرة. استخدم فى العدوى معلق لجراثيم الفطر بتركيز مليون جرثومة بكل ملليلتر.

وقد استخدمت فرشاة من شعر الجمل فى عدوى الأوراق من السطحين. وأعقب ذلك وضع الأصص المحتوية على النباتات المحقونة فى صوانٍ بها طبقة رقيقة من الماء، وتغطية النباتات بشريحة بلاستيكية، ثم تركها فى صوبة على حرارة ٢٤ ± ٢°م لمدة يومين. وقد ظهرت الاختلافات — فى شدة الإصابة — بين التراكيب الوراثية بعد ذلك بستة أيام أخرى، وكانت الإصابة متجانسة بدرجة أفضل مما كانت عليه الحال فى أى من طريقتى غمس، أو رش الأوراق فى معلق جراثيم الفطر.

عدوى الأوراق بالبكتيريا

يجب دائمًا التمييز بين الأعراض الطبيعية typical، وغير الطبيعية atypical عند عدوى الأنواع النباتية بمسببات الأمراض — خاصة البكتيرية منها — سواء أكانت الدراسة بهدف تحديد مدى العوائل، أو التقييم للمقاومة.

إن الأعراض غير الطبيعية تظهر — غالبًا — نتيجة لما يبديه النبات من مقاومة لهذه المسببات المرضية التى أدخلت فيه بوسائل صناعية خاطئة، أو نتيجة لاستعمال تركيزات عالية، وهى أعراض لا تظهر أبدًا فى الظروف الطبيعية. ولذا.. فإن اختيار طريقة العدوى وتركيز البكتيريا المناسبين أمران فى غاية الأهمية لتمييز النباتات المقاومة عن تلك القابلة للإصابة.

ويقدر أفضل تركيز للعدوى الصناعية، بالبكتيريا المسببة للأمراض بنحو ٥ × ١٠^٦ خلية بكتيرية أو أكثر من ذلك/ مل من المعلق البكتيرى؛ فعند استعمال هذا التركيز تكون كل خلايا أنسجة النبات المحقونة على اتصال بالطفيل

وتفيد كثيرًا تهيئة الظروف التى تجعل ثغور الأوراق مفتوحة عند الحقن بالبكتيريا التى تُحدث بقعًا ورقية؛ ذلك لأن هذه البكتيريا تمر إلى المسافات التى توجد بين الخلايا من خلال الثغور المفتوحة. ولأجل هذا . يمكن وضع النبات فى مكان رطب مظلل، كأن يوضع فوقه ناقوس زجاجى، أو يترك فى غرفة نمو رطبة لمدة ٢٤ ساعة قبل العدوى الصناعية ويمكن زيادة الرطوبة النسبية حول النبات بوضع ورق نشاف مبلل بالماء داخل الناقوس الزجاجى أو فى غرفة النمو.

يستخدم فى العدوى الصناعية بالبكتيريا مزارع بكتيرية حديثة يتراوح عمرها من ٢٤-٤٨ ساعة تغسل هذه المزارع بماء معقم، ويعدل تركيز المعلق البكتيرى حسب التركيز المطلوب الذى يتوقف على طريقة الحقن المتبعة، كما يلى:

١- رش المعلق البكتيرى على سطح النبات

يعتبر رش المعلق على الأوراق النباتية أفضل طريقة للعدوى الصناعية بالبكتيريا المسببة لتبقعات الأوراق، لأنها أقرب الطرق للعدوى الطبيعية. ويلزم فى هذه الحالة وضع النباتات فى حجرة نمو رطبة لمدة ٢٤ ساعة قبل إجراء العدوى، أو تعريضها للرش بالرذاذ mist لعدة ساعات قبل العدوى. وتتم العدوى برش السطح السفلى للأوراق — تحت ضغط منخفض — بمعلق بكتيرى يحتوى على أكثر من ٥ × ١٠^٦ خلية بكتيرية/ مل ولا يخشى — فى هذه الحالة — من ظهور أعراض مرضية غير طبيعية لأن نسبة قليلة فقط من الخلايا البكتيرية التى توجد فى المعلق هى التى يمكنها المرور إلى المسافات البيئية لخلايا النسيج الوسطى من خلال الثغور.

ونجد فى حالة عدم التوافق بين البكتيريا والنوع النباتى المستخدم أن البكتيريا تظهر نشاطها حول الثغور، حيث تظهر الأعراض غير الطبيعية فى مساحات ميكروسكوبية لا

تُرى بالعين المجردة. أما فى حالة التوافق.. فإن الإصابة يمكن أن تنتشر بدرجة كبيرة إلى أن تظهر الأعراض المميزة للمرض.

يمكن رش المعلق البكتيرى تحت ضغط، ولكن يجب أن يؤخذ فى الاعتبار نوع الرشاشة، وشدة الضغط، والمسافة بين الرشاشة والسطح الورقى؛ فمثلاً.. تستخدم الرشاشة الصغيرة جدًا atomizer أو رشاشة الطلاء تحت ضغط ١,٥ كجم/سم^{٢}، مع جعل الـ atomizer على مسافة ١٠ — ٢٥ سم من سطح الورقة. وبالمقارنة.. تستخدم artist's air brush تحت ضغط ٢,٥ — ٣,٠ كجم/سم^{٢} مع جعلها على مسافة ٣— ٦ سم من سطح الورقة.

وإذا ما استعمل ضغط عالٍ فإن تركيز المعلق البكتيرى لا يجب أن يزيد عن ٥ × ١٠^{٦} خلية/ مل حتى لا تجبر البكتيريا على المرور إلى المسافات البينية لخلايا نسيج الميزوفيل من خلال الثغور، وحتى لا يتولد عن ذلك تكوين أجزاء أو بقع متحللة فى النباتات المقاومة — أو تلك التى لا تعد من عوائل البكتيريا — جراء الأضرار التى يُحدثها اصطدام محول الرش بالورقة تحت ضغط.

وتفيد إضافة المواد المحدثة للجروح abrasives إلى الأوراق قبل رشها باللقاح البكتيرى فى تجنب الحاجة إلى استعمال ضغط عالٍ عند الرش، وخاصة عند عدوى الأوراق المغلفة بطبقة شمعية. ويستخدم لأجل ذلك الكاربورندم (٣٠٠ — ٦٠٠ مش mesh)، ويلزم — حينئذٍ — حك معلق اللقاح بلطف على سطح الورقة — بعد رشه — بالإصبع أو باستعمال قطعة قطن أو قطعة من الشاش.

وبعد العدوى بالبكتيريا .. يمكن وضع النباتات مرة أخرى فى حجرة النمو الرطبة التى يجب أن تقترب رطوبتها من ١٠٠٪، فعلى سبيل المثال.. لم تظهر على أوراق الخيار التى حقنت بالبكتيريا *P. lachrymans* — المسببة لمرض تبقع الأوراق الزاوى — أية أعراض للإصابة عندما كانت الرطوبة النسبية ٨٠٪ — ٩٠٪ بعد العدوى، بينما ظهرت

أعراض المرض الطبيعية عندما كانت الرطوبة النسبية ٩٥٪ — ١٠٠٪. تترك النباتات المعداة فى الرطوبة العالية لمدة ٦— ١٨ ساعة بعد العدوى الصناعية بالمسبب المرضى، ثم تنقل إلى بيت محمى بعد ذلك.

٢- حقن المعلق البكتيرى فى المسافات بين الخلايا

تتم العدوى فى هذه الطريقة بحقن المعلق البكتيرى فى المسافات البينية لخلايا الورقة باستعمال محقنة طبية يسمح ذلك بإدخال عدد معلوم من الخلايا البكتيرية بتجانس تام فى المسافات البينية دون إحداث ضرر لنسيج الورقة. يجرى الحقن من السطح السفلى للورقة وتزداد سهولة حقن الأوراق مع زيادتها فى العمر. ومن الضرورى أن يكون الجزء المائل من سن الإبرة — الذى توجد به الفتحة — إلى أسفل (أى تحت خلايا البشرة السفلى مباشرة) عند الحقن، وأن يكون الحقن بين عروق الورقة. وتسمح هذه الطريقة باختبار عدة سلالات بكتيرية على نفس الورقة أو على أوراق مختلفة من نفس النبات.

٣- حك الأوراق

يمكن إجراء العدوى بحك الأوراق التى سبق نثر الكربورندم عليها بقطعة من القطن أو الشاش يكون قد سبق غمسها فى المعلق البكتيرى.

يجب أن يزيد تركيز المعلق البكتيرى المستعمل عن مليون خلية بكل ملليلتر.

وبينما تفيد إضافة الكربورندم إلى المعلق البكتيرى المستخدم فى الرش فى زيادة شدة الإصابة، فإن ذلك قد يؤدى إلى ظهور بقع ومناطق متحللة غير طبيعية بالنباتات المقاومة.

٤- التثقيب الرقيق أثناء العدوى

من بين الطرق التى تتأكد معها حدوث الإصابة بالبكتيريا إحداث ثقوب كثيرة دقيقة فى السطح الذى يراد عدواه بالبكتيريا — سواء أكان ورقة، أم نسيج لحمى — وذلك قبل العدوى بالبكتيريا مباشرة، أو أثناءها. ويستعمل فى الجروح دبابيس دقيقة تبرز نهاياتها

(حوالى ٠,٥ سم) من قطعة فلين. وقد تستعمل قطعة الفلين (أو قطعة من الخشب أو الاستيروفوم) مباشرة أو تثبت فى أحد طرفى ماسك زجاجى، بينما تُثبت فى الطرف الآخر قطعة فلين أخرى بدون دبابيس حتى يمكن الضغط على الورقة بينهما. وتعرف هذه الطريقة باسم pin-prick method.

وقد جربت هذه الطريقة بنجاح فى أمراض البقع الورقية، والعفن الطرى، وأعفان الساق، والذبول والتفحمات.

ومن الطرق الأخرى المماثلة الناجحة وضع الورقة المراد عدواها بين الإبهام وورقة سنفرة (بها حبيبات رمل بقطر ٠,٢٠ — ٠,٣٥ مم مبللة بالمعلق البكتيرى) مع الضغط على الورقة قليلاً لإحداث بعض الجروح بها (عن Dhingra & Sinclair ١٩٨٥، وعن Greenleaf ١٩٨٦).

ويمكن زيادة شدة الإصابة ببعض الأنواع البكتيرية المرضة للنباتات، مثل: *Pseudomonas syringae* pv. *tomato* — على الطماطم — بمعاملة الأوراق قبل عدواها بالبكتيريا بعذيبات الشمع، مثل ٠,١٪ إثير بترولى، أو ٠,٠٠١ مولار أيدروكسيد بوتاسيوم أو أيدروكسيد صوديوم.

ويفيد مجرد الضغط على الأوراق بين الأصابع بعد غمسها فى المعلق البكتيرى فى إحداث الإصابة، إلاّ أن الأضرار التى قد تنشأ عن زيادة الضغط تجعل من الصعب تقدير شدة الإصابة كميًّا.

عدوى الأوراق بالفيروسات بطريقة الرش تحت ضغط

تعرف هذه الطريقة باسم Spray Gun Method، وهى شديدة الفاعلية مع بعض الفيروسات مثل فيرس موزايك التبغ. ويلزم عند اتباعها إضافة الكاربورندم إلى العصير الخلوى المستخدم فى العدوى الصناعية بنسبة ٥٪ بالحجم. ترش النباتات بقوة من على مسافة ٨–١٠ سم تحت ضغط ٤– ٧ كجم/سم^{٢}. ويمكن بهذه الطريقة عدوى مئات النباتات الصغيرة فى دقائق معدودة (عن Greenleaf ١٩٨٦).

موجز لطرق عدوى الأوراق

يمكن إيجاز طرق إجراء العدوى (التلقيح أو الحقن) عن طريق الأوراق فيما يلى:

١- تعد أبسط الطرق لعدوى الأوراق هى برش معلق من جراثيم المسبب المرضى الفطرى أو الخلايا البكتيرية — وهى فى ماء معقم، أو فى زيت — على سطح الورقة وعند استعمال الماء تجب إضافة مادة ناشرة مثل توين ٢٠ Tween 20 أو توين ٨٠ بتركيز ٠,٥٪، أو صابون سائل بتركيز ٠,١٪. ويتعين اختبار إنبات الجراثيم فى تلك المحاليل قبل إجراء اختبارات العدوى. تؤدى إضافة المواد الناشرة إلى زيادة أعداد الأوراق التى تُصاب فى كل نبات، وزيادة شدة الإصابة وتجانسها، وخفض التباين فى الأعراض المرضية ونجد عند رش الأوراق المغطاة بغطاء شمعى بالمعلق الجرثومى فى الماء دون استعمال المواد الناشرة — مع تحضين النباتات فى جو رطب — أن الرطوبة الحرة التى تتجمع على الورقة تكوِّن قطرات كبيرة لا تلبث أن تتدحرج آخذه معها الجراثيم التى لم تنبت بعد، أو أنها تتجمع عند قاعدة الأوراق أو أطرافها، مما يحد من شدة الإصابة ويجعلها تتركز فى مكان واحد من الورقة.

وتفيد فى اختبارات عدوى الأوراق إضافة مواد لاصقة، مثل: الجيلاتين بتركيز ٠,٥٪ والآجار بتركيز ٠,١٪ – ٠,٢٪ وكربوكسى مثيل السيليلوز carboxymethyl cellulose بتركيز ٠,٢٪ – ٠,٥٪؛ فهذه المواد تقوم — إلى جانب لصق الجراثيم بسطح الأوراق — بمنع جفاف الجراثيم، كما توفر لها قليلاً من الغذاء لأجل إنباتها.

يستمر رش الأوراق حتى يقطر منها محلول الرش، ويستثنى من ذلك الحالات التى يتعين فيها حفظ النباتات — بعد عدواها — فى رطوبة عالية، كما فى حالة العدوى بمسببات البياض الزغبى؛ إذ يكفى معها الرش العادى الخفيف.

ويناسب الرش على نطاق ضيق استعمال رشاشة صغيرة يتم توصيلها بمصدر لتوليد ضغط قدره ١-١,٥ كجم/سم^{٢}، وهو الذى يعطى زذاذ دقيق مناسب للعدوى. أما فى المساحات

الكبيرة، فيمكن استعمال رشاشة طلاء تُوصَّل بمصدر لتوليد الضغط مع توصيلها — كذلك — بمصدر اللقاح باستعمال أنبوبة مطاطية طويلة، أو قد تستعمل رشاشة حقلية لهذا الغرض.

أما استعمال الزيوت غير السامة للنباتات كمعلقات للجراثيم فإنه يفيد — خاصة — مع الجراثيم الجافة، باستثناء الجراثيم الكونيدية لفطريات البياض الدقيقى، وهى التى تفقد قدرتها على إحداث الإصابة لدى تعليقها فى الزيوت. وتستخدم الزيوت — خاصة — فى عدوى النجيليات بفطريات الأصداء.

٢- العدوى باستعمال الجراثيم المحمولة فى بودرة التلك:

يفيد حمل البذور فى بودرة التلك فى عدوى الأوراق بالجراثيم الجافة، ولكنها تتطلب كميات كبيرة من الجراثيم مقارنة باستعمال معلقات الجراثيم فى الماء أو فى الزيت. وتتبع هذه الطريقة — خاصة — فى حالة العدوى بفطريات الأصداء، ويجرى ذلك باستعمال عفارة خاصة، مثل DeVillbis powder insufflator أو cyclone spore collector. تقوم العفارة الأخيرة بتجميع الجراثيم من الأوراق المصابة، ثم — باعكاس اتجاه تيار الهواء — تقوم بتعفير تلك الجراثيم — وهى مختلطة بالتلك — على الأوراق التى يرغب فى عدواها. ويلى التعفير تحضين النباتات فى رطوبة عالية. وقد ترش النباتات بالماء أولاً — تحت ضغط — قبل تعفيرها بالجراثيم مع التلك.

٣- يفيد هز الأوراق المصابة على النباتات التى يرغب فى عدواها — أو حكها بها — فى إحداث العدوى بالمتطفلات الإجبارية، مثل فطريات البياض الدقيقى. وفى حالة استعمال هذه الطريقة مع فطريات الأصداء فإن النباتات ترش بالماء أولاً قبل حك الأوراق المصابة بها، ولا يجوز اتخاذ هذه الإجراء (الرش بالماء) مع فطريات البياض الدقيقى، أما فى حالة فطريات البياض الزغبى التى تُنتج جراثيمها ليلاً، والتى تكون حساسة للجفاف، فإن الأوراق التى تظهر عليها الجراثيم تجمع من الحقل فى الصباح أثناء وجود الندى، وتوضع على اتصال مباشر بأوراق النباتات التى يراد اختبارها.

٤- يفيد غمس الأوراق فى معلق لجراثيم الفطر فى اختبار أعداد كبيرة من البادرات التى تكون نامية فى أصيص واحد (عن Dhingra & Sinclair ١٩٨٥)

العدوى عن طريق السيقان والجذور والأسطح المقطوعة

تُجرى العدوى (الحقن) عن طريق السيقان فى اختبارات المقاومة لأمراض الذبول الوعائية. وعلى الرغم من إمكان إتباع هذه الطريقة — كذلك — مع أمراض أعفان الجذور، والذبول الطرى، وعفن الرقبة، وعفن قاعدة الساق، والتقرحات، إلاّ أنه يتعين الحرص فى تفسير نتائجها لأن مقاومة مختلف الأعضاء النباتية قد تختلف بالنسبة للمسبب المرضى الواحد

العدوى عن طريق السيقان

من بين الطرق الشائعة لحقن السيقان، ما يلى:

١- عمل قطع عمودى بطول ١-١,٥سم بالساق باستعمال مشرط حاد، ثم إضافة جزء صغير من مزرعة المسبب المرضى إليه. يجرى هذا القطع فى حالة أمراض الجذور التى تصيب السيقان على ارتفاع ٢-١٠سم من سطح التربة. ويلى إضافة المسبب المرضى تغليف مكان الجرح جيدًا.

٢- غرز عود أسنان toothpick ملوث بالمسبب المرضى فى ساق النبات حتى عمق ١-٢سم ثم قطع الجزء البارز منه وتغليفه جيدًا.

٣- غرز إبرة تشريح فى ساق النبات عند العقدة الثانية فوق عنق الورقة مباشرة، ثم إضافة نقطة من معلق جراثيم المسبب المرضى فى إبط الورقة بحيث تغطى مكان الجرح.

وفى حالة الأمراض البكتيرية فإن نقطة المعلق البكتيرى تضاف قبل غرز الإبرة.

٤- العدوى بالمسببات المرضية البكتيرية بقطع أعناق الأوراق الصغيرة أو القمة النامية للبادرات ثم إضافة البكتيريا على مكان الجرح باستعمال ماصة أو فرشاة

٥- تتبع كذلك طريقة حقن الساق باستخدام إبرة محقنة (سرنجة) سبق غمسها في معلق المسبب المرضى، وذلك حتى عمق ٢ مم، فوق الأوراق الفلقية مباشرة، حيث تنسحب نقطة المعلق الجرثومى للمسبب المرضى الموجودة بالإبرة إلى داخل ساق النبات لدى سحب الإبرة (عن Dhingra & Sinclair ١٩٨٥).

العدوى بالبكتيريا بطريقة الوخز Pricking

يمكن عدوى السيقان أو الأجزاء اللحمية للنباتات بالبكتيريا بوخزها بإبرة أو تجريحها بمشرط سبق غمسه فى معلق للبكتيريا التى يُراد استخدامها فى العدوى، وهى أفضل الطرق للعدوى بأمراض الذبول البكتيرية وأعفان أعضاء التخزين. وتظهر أعراض الذبول الطبيعية عند اتباع هذه الطريقة أيًّا كان تركيز البكتيريا فى المعلق المستخدم.

ولعدوى أعداد كبيرة من النباتات بطريقة الوخز.. تثبت الإبرة وسط فرشاة بحيث يكون سن الإبرة دون مستوى أطراف شعر الفرشاة بقليل. وبغمس الفرشاة فى المعلق البكتيرى يمكن ضمان تلوث الإبرة بالبكتيريا بالقدر المناسب أثناء عدة وخزات متتالية. ويتم وخز النباتات الصغيرة — فى حالات أمراض الذبول — فى المنطقة التى تقع مابين الأوراق الفلقية والورقة الأولى.

وقد استخدم Hassan وآخرون (١٩٨٦) هذه الطريقة فى تقييم الطماطم لمقاومة البكتيريا *C. michiganense* المسببة لمرض التقرح البكتيرى.

العدوى بالبكتيريا عن طريق الأسطح المقطوعة

تجرى العدوى بأمراض الذبول البكتيرية بقطع نحو ١-٢سم من الجذور، ثم غمسها — بعد ذلك مباشرة — فى المعلق البكتيرى المناسب لمدة ساعتين، ثم تشتل النباتات فى التربة

كما قد تجرى العدوى فى حالة أمراض الذبول أيضًا بطريقة أخرى تكسر فيها أعناق بعض الأوراق الصغيرة، أو بعض الفروع الصغيرة، ثم يوضع المعلق البكتيرى على مكان القطع بواسطة فرشاة أو ماصة.

وتجرى العدوى فى حالات أمراض الأعفان الطرية بعمل قطع فى عضو التخزين (الثمرة أو الجذور، أو الدرنة... إلخ) بمشرط أو نصل سكين معقم، ثم يوضع المعلق البكتيرى على مكان القطع وتوضع الأعضاء النباتية المحقونة بهذه الطريقة فى مكان رطب لمدة ٤٨ ساعة بعد الحقن (Kiraly وآخرون ١٩٧٤).

العدوى عن طريق الجذور

تحدث الإصابة الطبيعية والصناعية بأمراض الجذور والحزم الوعائية عن طريق التربة، ولكن العدوى الصناعية بأمراض الحزم الوعائية يمكن إحداثها عن طريق كل من الجذور والسيقان على حدٍ سواء، كما يلى:

١- تجرى العدوى الصناعية عن طريق التربة فى حالات الأمراض التى تحدث الإصابة الطبيعية فيها عن طريق الجذور، وتعيش مسبباتها فى التربة، مثل أمراض الذبول، وأعفان الجذور، وتتأثل الجذور فى الصليبيات، وتتأثل البطاطس ... إلخ تجرى العدوى الصناعية لتربة الحقل، أو الصوبة بالمسبب المرضى، ويحافظ على اللقاح فيها باستمرار زراعة صنف قابل للإصابة بهذا المسبب المرضى سنويًا.

٢- لا يلزم فى معظم أمراض الذبول تقطيع الجذور لكى تحدث الإصابة، إلا أنه يُنصح بهذا الإجراء أحيانًا لزيادة تجانس الإصابة (Walker ١٩٦٦)، كما يكون التجريح ضروريًا فى حالات أخرى كما فى الذبول الفيوزارى فى البطاطا، حيث يوصى - عند إجراء اختبار التقييم للمقاومة - بغمر قواعد العقل الطرفية لسيقان البطاطا فى معلق لجراثيم الفطر، مع هرس تلك القواعد بآلة حادة (Hanna وآخرون ١٩٦١).

٣- يفضل إجراء اختبارات التقييم للنيماتودا - بالنسبة للأنواع النباتية التى يسهل شتلها - فى صوانى إنتاج شتلات speedling trays تُملأ عيونها بمخلوط زراعة يتكون من البيت موس والفيرميكيوليت. تستعمل لأجل ذلك صوانٍ ذات عيون واسعة

لكى تسمح بتكوين نمو جذرى جيد يكون من السهل تقييمه جيدًا يضاف إلى كل عين ٢٠٠٠ بيضة عند زراعة البذور أو عند وضع البادرات فيها. توضع الصوانى على سنّادات حديدية أو من قوالب الطوب لكى لا ترتكز على الأرض؛ وبذا يسهل تقليم جذورها التى تبرز منها (عن Fassuliotis ١٩٨٥)

٤- بينما يسهل عدوى المجموع الجذرى للنباتات التى تشتل — مثل الطماطم والفلفل — حيث يغمر المجموع الجذرى فى معلق للمسبب المرضى قبل الشتل، فإنه قد يستحيل إجراء ذلك بالنسبة للمحاصيل التى يصعب شتلها مثل الفاصوليا. وقد تغلب Wallace & Wilkınson (١٩٦٥) على هذه المشكلة عند تقييمها الفاصوليا لمقاومة الفطر *F. solani* f. *phaseoli* المسبب لمرض عفن الجذور الجاف بإجراء اختبارات التقييم فى أصص بقطر ١٥ سم مثبت فى قمتها حلقة ورقية (مبطنة بالبوليثيلين) بارتفاع ٦ سم، وتملأ بالفيرميكيوليت تزرع البذور على سطح التربة فى الأصيص، ثم يضاف الفيرميكيوليت. بعد الإنبات تجرى العدوى بإضافة معلق جراثيم الفطر إلى الفيرميكيوليت وعند تقييم النباتات . تزال الحلقة الورقية وما بداخلها من فيرميكيوليت، ثم تقدر درجة الإصابة فى السويقة الجنينية السفلى للنباتات؛ حيث يمكن — حينئذ — التخلص من النباتات القابلة للإصابة والإبقاء على النباتات المقاومة. وقد اتبعت هذه الطريقة فى دراسة المقاومة لكل من مرضى العفن الجاف والعفن الأسود فى الفاصوليا (Hassan وآخرون ١٩٧١ أ، ب).

٥- تزداد المشكلة تعقيدًا بالنسبة للنباتات الصعبة الشتل — كالفاصوليا — حينما لا يكون هناك مناص من فحص الجذور لتقدير شدة الإصابة، حيث يتعذر حينئذٍ الاستفادة من النباتات المقاومة بعد تقليعها — لفحص جذورها — خاصة وأن عملية التقييم لا يمكن إجراؤها قبل مضى شهر أو شهر ونصف الشهر من زراعة البذور.

وقد توصل Wyatt وآخرون (١٩٨٠) إلى طريقة تسمح بالاستفادة من النباتات المرغوب فيها المنتخبة، والمحافظة عليها، ليمكن تهجينها، أو تركها لتتلقح ذاتيًا.

وتتلخص تلك الطريقة فى عدوى تربة "البنشات" فى الصوبة، وزراعة الفصوليا فى أصص من البيت موس أو الفخار مملوءة بتربة غير معدية بالنيماتودا، ثم دفن هذه الأصص فى تربة (البنش). تنمو — نتيجة لذلك — بعض الجذور من الثقوب التى توجد بأسفل الأصيص. حيث تتعرض للإصابة بالنيماتودا، وبذا.. يمكن تقييمها مع الإبقاء على النباتات المقاومة التى تحتفظ بجذورها فى الأصص.

وقد تمت عدوى تربة (البنشات) فى الطريقة السابقة بمعلق من بيض النيماتودا *M. incognita* فى قاع حُفَر عمق كل منها ١٠سم، وقطرها ٨سم وموزعة كل ٢٠سم فى صفوف تبعد عن بعضها البعض بمقدار ٣٠سم، بحيث يصل إلى كل حفرة نحو ١٢٠٠ بيضة من النيماتودا. وكانت أصص البيت المستخدمة فى الزراعة بقطر ٧,٦سم، وثُقّبت من القاع بقطر ٢,٢سم. وضعت هذه الأصص فى الحفر التى أضيف إليها اللقاح فى تربة (البنشات). وزرع بكل أصيص ثلاث بذور، ثم أجريت عملية الخف على نبات واحد بعد الإنبات. وقد سُجلت شدة الإصابة على الجذور التى نمت من قاع الأصص بعد ٣٥، و ٤٥، و ٥٥ يومًا من زراعة البذور.

كذلك استخدمت أصص فخارية زرعت فيها بذور سبق استنباتها على مهاد ورقية إلى أن وصل طول النمو الجذرى فيها إلى ٦–٨سم، مع إبراز طرف الجذير من قاع الأصيص قبل تغطية البادرة بالتربة. وقد كانت تلك الطريقة أفضل من طريقة أصص البيت؛ لأن الجذور كانت نافذة من قاع الأصص منذ البداية، وكان التقييم — فى جميع النباتات — على الجذر الرئيسى، وبذا.. فإنه كان متجانسًا.

وكان من أبرز عيوب تلك الطريقة ما يلى:

أ– اعتمد التقييم — فى الحالات التى لم ينفذ فيها الجذر الرئيسى من قاع الأصيص — على إصابة الجذور الرفيعة التى نفذت من القاع، الأمر الذى لا يجعل التقييم دقيقًا.

ب–نادرًا ما أصيبت الجذور التى نفذت من جوانب الأصص بالنيماتودا، حيث لم يتوفر لها الوقت الكافى لذلك.

ج–لم تتحمل أصص البيت تأخير عملية التقييم إلى ٤٥ أو ٥٥ يومًا من الزراعة؛ حيث كان من الصعب تداول الأصص آنذاك، وغالبًا ما أضير المجموع الجذرى للنباتات عندما نُزعت الأصص من مكانها فى تلك المرحلة، حيث ذبلت النباتات، إلا أنها عادت إلى حالتها الطبيعية خلال يوم أو يومين عندما كان الفحص بعد ٣٥–٤٥ يومًا من الزراعة.

ويلجأ البعض إلى تقييم نباتات الفاصوليا لمقاومة نيماتودا تعقد الجذور عندما يبلغ عمرها خمسين يوما، وذلك عندما تكون القرون ناضجة جزئيًا، ولكن يعيب على تلك الطريقة ما يلى:

أ– تكون البذور التى تنتجها تلك النباتات ضعيفة، وتعطى بادرات بطيئة النمو، مقارنة بالبذور المكتملة النمو.

ب– لا تسمح هذه الطريقة بتلقيح النباتات المنتخبة رجعيًا، أو مع نباتات أخرى مرغوب فيها.

ج– قد تتعرض جذور النباتات المنتجة — فى تلك المرحلة من النمو — للإصابة ببعض الفطريات المسببة للعفن، مما يحدث تلفًا فى قشرة الجذور يصعب معه التقييم للمقاومة.

ومن الطرق الأخرى التى استخدمت لتقييم نباتات الفاصوليا لنيماتودا تعقد الجذور إجراء الزراعة والعدوى الصناعية فى أحواض زجاجية شفافة؛ كتلك التى تستخدم فى دراسات نمو الجذور، وبذا.. يمكن ملاحظة تكوين الثآليل مباشرة.

موجز لطرق عدوى الجذور

يمكن تلخيص طرق إجراء العدوى (التلقيح أو الحقن) عن طريق الجذور فيما يلى:

١– الزراعة فى أرض مصابة طبيعيًا أو سبق تلويثها بالمسبب المرضى.

٢- استخدام المزارع المائية:

عند اتباع طريقة المزارع المائية تُنتج البادرات أولاً فى بيئية معقمة، ثم تُنقل إلى محلول مغذٍ وقد تُحقن الجذور بالمسبب المرضى إما بغمسها فى معلق منه قبل نقلها إلى المحلول المغذى، وإما بإضافة المسبب المرضى إلى المحلول المغذى ذاته. وغالبًا ما يُستعمل محلول هوجلند المغذى، ولكن بربع أو بنصف تركيزه القياسى. يفيد التركيز المنخفض فى سرعة ظهور الأعراض المرضية، إلا أن التركيز الشديد الانخفاض قد يؤدى إلى ظهور أعراض نقص بعض العناصر، وهى التى قد تختلط على بعض الأعراض المرضية.

٣- طريقة غمس الجذور:

يمكن اتباع طريقة غمس الجذور فى معلق المسبب المرضى مع غالبية المسببات التى تصيب الجذور. يتم إنتاج البادرات أولاً فى بيئة معقمة، ثم تغمس جذورها فى معلق من جراثيم المسبب المرضى لمدة تتراوح بين ساعة واحدة إلى ٢٤ ساعة حسب العائل والمسبب المرضى. يلى ذلك شتل البادرات فى بيئة مناسبة. وتؤثر فترة الغمس على الشدة التى تظهر بها أعراض المرض.

٤- طريقة القطع والغمس:

تستخدم طريقة قطع الجذور قبل غمسها فى معلق المسبب المرضى فى اختبارات المقاومة لمسببات الذبول، ولكنها تُميِّز فقط بين المستويات العالية والمنخفضة من المقاومة. ولإجراء هذه الطريقة يُقطع نحو ٣-٤سم من أطراف جذور البادرات التى يكون قد سبق إنتاجها فى بيئة معقمة، وذلك قبل غمسها فى معلق المسبب المرضى، ثم شتلها. وفى حالة البكتيريا المسببة للذبول الوعائى تُقطع الجذور على بعد سنتيمتر واحد من أطرافها، ثم تُغمس فى المعلق البكتيرى لمدة ١٠-٦٠ ثانية، أو تقطع الجذور أثناء غمسها فى المعلق. وقد يجرى الحقن بقطع أطراف جذور البادرات ثم شتلها فى صوانى الشتلات مع إضافة حوالى ٢-٤ مل من المعلق لكل عين قبل الشتل فيها. كذلك فإن الجذور قد تُجْرح أثناء غمسها فى المعلق البكتيرى.

٥- طريقة التجريح العميق:

تتبع طريقة التجريح العميق للجذور مع مسببات أمراض الذبول الوعائية، وفيها يغمد مشرط عدة مرات فى الكومبوست المحيط بجذور البادرات، ثم يضاف معلق جراثيم المسبب المرضى. ويفيد منع أو تقليل الرى قبل العدوى فى زيادة احتفاظ بيئة الزراعة بمعلق المسبب المرضى عند إضافته.

٦- حقن الجذور الخشبية الكبيرة:

عند الرغبة فى حقن الجذور الخشبية المسنة يتم تتبعها نحو نهاياتها حتى نصل إلى النقطة التى تكون فيها الجذور بقطر ١-٢ سم، حيث تُزال من الجذور شريحة سطحية بطول سنتيمتر واحد بامتداد أحد جوانبه، ويلى إضافة جزء من بيئة أجار للمسبب المرضى، ثم تغطيتها جيدًا، وربطها قبل ردم التربة على الجذر مرة أخرى.

٧- حقن الجذور دون التأثير على وضعها الطبيعى فى التربة:

قد تؤدى عملية الشتل إلى إحداث أضرار بالجذور، مما قد لا يمثل العلاقة الطبيعية بين العائل والمسبب المرضى فى بعض الحالات. وفى حالات كهذه تجرى العدوى بإضافة معلق المسبب المرضى إلى بيئة نمو الجذور مباشرة، أو تُخلّص الجذور من بيئة الزراعة بحرص شديد حتى لا تتقطع، ثم تُرش بمعلق جراثيم المسبب المرضى أو تغمس فيه قبل إعادة زراعتها من جديد.

وبالإضافة إلى الطرق التى تقدم بيانها فإنه يمكن توفير المسبب الذى يصيب النبات عن طريق الجذور بتلويث البذور سطحيًا به.

تتبع تلك الطريقة فى اختبارات المقاومة لبعض أمراض أعفان الجذور، وتتم بتطهير البذور سطحيًا، ثم نقعها فى معلق مركز للمسبب المرضى لمدة ساعة واحدة إلى ٢٤ ساعة، ثم زراعتها (عن Dhingra & Sinclair ١٩٨٥).

عدوى البذور

تتبع طريقة عدوى البذور فى اختبارات المقاومة لأمراض البذور، والأمراض التى تنتقل عن طريق البذور، وأمراض الذبول الطرى السابق للإنبات والتالى له، وأعفان الجذور، وأعفان قاعدة الساق، والأمراض ذات الطبيعة الجهازية مثل التفحمات ويعتبر استخدام الجراثيم أفضل من الغزل الفطرى، كما تعتبر العدوى تحت تفريغ (١٥٠-٢٠٠مم زئبق) أفضل من مجرد غمس البذور فى معلق جراثيم الفطر. ويراعى — فى كل الحالات — عدم زيادة أعداد الجراثيم التى تصل إلى البذور على الحد المناسب. وحقيقة الأمر أن ما يحدث فى هذه الطريقة هو تلويث للبذور بالمسبب المرضى (وليس إصابتها به)؛ بحيث يكون الطفيل قريبا من العائل منذ المراحل الأولى لإنبات البذور. وتجرى هذه الطريقة خاصة عند العدوى بفطريات التفحم المغطى فى النجيليات

تستخدم فى حالة التفحمات الجراثيم الكلاميدية والتيليتية وفى البداية تغمر البذور فى محلول فورمالين بتركيز ٠,٣٪ لمدة ساعة، ثم تغسل فى ماء صنبور جارٍ لمدة ٣٠ دقيقة لتطهيرها تمامًا من أى تلوث سطحى. ويلى ذلك تجفيف البذور لمدة ٢٤ ساعة على ٢٠°م، ثم يرج ١٠٠جم من البذرة مع ٠,٥-١,٠جم من الجراثيم

ويجرى الاختبار لمقاومة البياض الزغبى بتغليف البذور بالجراثيم البيضية، ثم زراعتها (عن Dhingra & Sinclair ١٩٨٥).

عدوى الأزهار

تتبع عدوى الأزهار — أساسًا — مع مسببات أمراض أعفان الكوز فى الذرة والسورجم، وكذلك فى حالات التفحم السائب، وفى مرض الإرجوت فى الشيلم. تعدى النورات الزهرية وقت تفتح الأزهار بجراثيم الفطر بالرش، أو بالتعفير، أو بالحقن، حيث ينتقل الفطر من مياسم الأزهار إلى الأجنة التى تتكون بعد الإخصاب (عن Kiraly وآخرين ١٩٧٤). فمثلاً.. تستعمل الرشاشات الحقلية لعدوى الشيلم فى الحقل بالفطر

Claviceps المسبب لمرض الإرجوت، وتحقن جراثيم التفحم السائب فى نورة نبات القمح باستعمال محقنة تحت جلدية، وتعدى نورات القمح والشعير بجراثيم التفحم السائب تحت تفريغ. ويتعين فى حالات الرش بجراثيم الفطر تغطية النورات بكيس بلاستيكى لمدة ٢٤-٧٢ ساعة بعد المعاملة.

عدوى الثمار

لا تفضل عدوى الثمار إذا أمكن تقييم النباتات عن طريق الأجزاء النباتية الأخرى فى طور مبكر من النمو، لأن عدوى الثمار يتطلب الانتظار وقتا طويلا إلى أن تثمر النباتات، كما أن وصول النباتات إلى هذه المرحلة المتقدمة من النمو يتطلب مساحات أكبر من الوحدات التجريبية لإجراء عملية التقييم. وبالرغم من ذلك.. فإنه يلزم عدوى الثمار ذاتها فى بعض الأحيان، كما فى مرض الأنثراكنوز فى الطماطم.

وقد حصل Robbins & Angell (١٩٧١) على ٩٥٪ إصابة بالأنثراكنوز فى ثمار صنف الطماطم Heinz 1350 بوضع نقطة صغيرة من معلق جراثيم الفطر على سطح الثمرة بواسطة محقنة، ثم ثقب بشرة الثمرة تحت نقطة المعلق بإبرة المحقنة. وقد ظهرت أعراض المرض فى حرارة الغرفة وفى الرطوبة الجوية العادية، وبذا.. لم تكن هناك حاجة إلى التحكم فى درجات الحرارة أو الرطوبة الجوية.

الطرق المختبرية لتقييم مقاومة النباتات للأمراض

تتعدد الطرق المختبرية المستخدمة فى تقييم النباتات للأمراض، ومن أمثلتها ما يلى:

عدوى الأوراق المفصولة

تتبع طريقة عدوى الأوراق المفصولة عن النبات (detached leaves) مع كثير من المسببات المرضية الفطرية، مثل فطريات الأصداء، والبياض الزغبى، والبياض الدقيقى، وتبقع الأوراق السركسبورى. ولاتباع هذه الطريقة تُعَوَّم الأوراق على محلول سكروز

بتركيز ١٪-٣٪ فى ماء معقم، وتجرى العدوى برش جراثيم الفطر، أو نثرها جافة على سطح الورقة التى تعرض لإضاءة شدتها ١٠٠ قدم - شمعة لمدة ١٢-٢٤ ساعة، مع حرارة ٢٠-٢٤°م ويمكن إضافة ٥٠ جزءًا فى المليون من الـ benzimidazole، لتبيط نمو الكائنات المترممة.

وقد أمكن عدوى الأوراق الأولية للفاصوليا بأى من الفطرين *Botrytis cinerea*، أو *Sclerotinia sclerotiorum*، وذلك برش الأوراق المفصولة بمعلق لجراثيم الفطر بتركيز مليونى جرثومة / مل من محلول فوسفات غير عضوى منظم (KH_2PO_4 بتركيز ٦٢,٥ ملى مول) (Leone & Tonneijck ١٩٩٠).

التقييم بسموم المسببات المرضية

يمكن اتباع هذه الطريقة تحت ظروف الصوبات كذلك، وفيها تستخدم السموم Toxins التى تفرزها المسببات المرضية أثناء نموها فى البيئات الصناعية فى تقييم النباتات لمقاومة الأمراض التى تحدثها تلك المسببات المرضية، إذا إنها تتسبب - فى بعض الحالات - فى أحداث أعراض مماثلة للأعراض التى تحدثها الإصابة بالمسبب المرضى ذاته.

كان أول استخدام لهذه الطريقة فى التقييم للمقاومة للفطر *Helminthosporium victoriae* فى الشوفان كما يلى: نقعت بذور الشوفان لمدة نصف ساعة فى الماء، ثم وضعت فى طبقة بسمك ١٢ مم داخل أحواض خشبية، وحوفظ عليها مبتلة على حرارة ٢٧°م لمدة يومين، ثم رشت بعد ذلك بمحلول سُم الفطر، ثم أبقيت على نفس درجة الحرارة لمدة يومين آخرين. اختبر بهذه الطريقة أكثر من ١٠٠ بوشل من البذور (حوالى ٤,٥×١٠^{٧} بذرة شوفان) خلال أربعة أيام. وقد ظهرت بادرات خالية من أعراض المرض بمعدل ٥٠ بادرة لكل بوشل من البذور، وتبين من الاختبارات التالية بالفطر ذاته أن ٩٢٪ من هذه البادرات كانت مقاومة فعلا للمرض (Wheeler & Luke ١٩٥٥).

وقد أوضحت الدراسات التالية لذلك أن هذا السُّم الفطرى — الذى أطلق عليه اسم Victorin — يسبب تلفًا كبيرا للأغشية الخلوية بالأصناف القابلة للإصابة، بينما لم يكن له تأثير يذكر فى الأصناف المقاومة. كما تبين أن مقاومة النباتات لهذا السم الفطرى كانت بسيطة وسائدة.

كذلك وجد أن النواتج الأيضية لبيئة الفطر المسبب لمرض الذبول الفيوزارى فى الكرنب (السلالة ١)، والفطر المسبب لذبول الفجل (السلالة ٢) تُحدِثُ أعراضًا مرضية شبيهة بالأعراض الأولى للمرض لدى أضافتها إلى مزارع رملية للنباتات القابلة للإصابة. وقد أحدثت إفرازات السلالة ١ أعراض المرض فى كل من الكرنب والفجل، بينما أحدثت إفرازات السلالة ٢ المرض فى الفجل فقط، وهو ما يتمشى مع حقيقة أن السلالة ١ تصيب كلا من العائلين، بينما تصيب السلالة ٢ الفجل فقط (عن Walker ١٩٦٥).

وأمكن عزل بروتين من راشح مزارع سلالة رقم ١ من الفطر *Fusrium oxysporum* f. sp. *lycopersici* أدى — عند المعاملة به — إلى قتل بروتوبلاستات التراكيب الوراثية القابلة للإصابة بتركيزات منخفضة فى حدود ميكروجرام/ مل، بينما كانت بروتوبلاستات الأصناف المقاومة لتلك السلالة أقل حساسية لهذا البروتين بأكثر من ١٠٠ مرة (Strange ١٩٩٣).

وقد اختبر Kuti & Ng (١٩٨٩) مقاومة الفطر *Myrothecium roridum* فى القاوون بعدوى الأوراق المفصولة؛ إما بالفطر ذاته، وإما بالمركب roridin E — وهو من إفرازات الفطر السامة لنبات القاوون — وتبين وجود اختلافات وراثية بين النباتات المختبرة فى تحملها لكل من الفطر وإفرازاته السامة، وكان معامل الارتباط بينهما ٠,٩٤.

ومن أهم الأمراض النباتية (الفطرية) التى تظهر أعراضها نتيجة لإفراز مسبباتها لسموم خاصة ما يلى (عن Daly & Knoche ١٩٨٢).

الفطر المسبب للمرض	العائل
Alternaria kikuchiana	الكمثرى
A. mali	التفاح
A. citri	البرتقال — اليوسفى — الليمون المخرفش
A. alternata	الفراولة
A. alternata f. sp. *lycopersisci*	الطماطم
Helminthosporium victoriae	الشوفان
H. carbonum	الذرة
H. maydis	الذرة
H. sacchari	قصب السكر
Periconia circinata	الذرة الرفيعة
Phyllosticta maydis	الذرة الشامية

وغالبًا ما تكون المقاومة لسموم المسببات المرضية صفة وراثية بسيطة.

وترجع أهمية اختبارات المقاومة التى تجرى باستعمال سموم المسببات المرضية إلى إمكان تقييم أعداد هائلة من البذور والبادرات بيسر وسهولة خلال فترة زمنية وجيزة وفى مساحة صغيرة. ويفضل عند اتباع هذه الطريقة استخدام تركيزات منخفضة نسبيًا من سموم المسببات المرضية فى البداية؛ حتى لا يُقضى على جميع التراكيب الوراثية التى قد تكون على درجات متوسطة من المقاومة، ثم تُعرض هذه النباتات — أو أنسالها — لتركيزات أعلى من السموم بعد ذلك (Durbin ١٩٨١).

هذا . إلا أنه يجب الحذر من أن استخدام إفرازات أو سموم المسببات المرضية فى تقييم المقاومة للأمراض قد يؤدى إلى نتائج خاطئة. فمثلاً.. وجد أن الفطر *Verticillium albo-atrum* يصيب كلا من النباتات المقاومة والقابلة للإصابة. ويمتد أعلى الساق، لكن

لا تظهر أعراض المرض إلا فى الأصناف القابلة للإصابة فقط، وهى التى يفرز فيها الفطر سمومه التى تُحدث الأعراض المشاهدة؛ أى إن المقاومة ترجع إلى قدرة النباتات المقاومة على الحد من إفراز الفطر لسمومه فيها؛ وبذا.. فإن استعمال سموم الفطر فى تقييم المقاومة فى حالات كهذه — يؤدى إلى نتائج خاطئة.

استعمال مزارع الأنسجة فى اختبارات مقاومة الأمراض

يلجأ مربو النبات إلى إجراء اختبارات مقاومة الأمراض فى مزارع الأنسجة؛ بهدف تقييم الجيرمبلازم للمقاومة أحيانًا، وبهدف انتخاب التباينات الوراثية المقاومة — التى قد تتوفر فى مزارع الأنسجة — فى أغلب الأحيان.

أمثلة متنوعة لحالات وراثة المقاومة للأمراض وخصائصها

نوضح — فيما يلى — أمثلة متنوعة لبعض حالات وراثة المقاومة للأمراض وخصائصها (عن Walker ١٩٥٩، و ١٩٦٦ إلا إذا ذكر خلاف ذلك).

حالات مقاومة يتحكم فى وراثتها جين واحد

من أمثلة حالات المقاومة للأمراض التى يتحكم فى وراثتها جين واحد ما يلى:

العائل	المرض/ الأعراض	الطفيل	المقاومة
الفاصوليا	تبرقش	Pod Mottle Virus	سائدة
الفاصوليا	موزايك	Bean Mosaic Virus	سائدة
الفاصوليا	البياض الزغبى	*Pytophthora phaseoli*	سائدة
الفاصوليا	البياض الدقيقى	*Erysiphe polygoni*	سائدة
الفاصوليا	الصدأ	*Uromyces phaseoli*	سائدة
الخيار	الجرب	*Cladosporium cucumerinum*	سائدة
الخس	البياض الدقيقى	*Erysiphe cichoracearum*	سائدة

يتبع

العائل	المرض/ الأعراض	الطفيل	المقاومة
البسلة	الذبول الفيوزارى	*Fusarium oxysporum f. pisi*	سائدة
البسلة	البياض الدقيقى	*Erysiphi pisi*	متنحية
الفلفل	موزايك	Pepper Mosaic Virus	سائدة
السبانخ	البياض الزغبى	*Peronospora effusa*	سائدة
السبانخ	موزايك	Cucuwber Mosaic Virus	سائدة
الطماطم	ذبول فيرتسيليم	*Verticillium albo-artum*	سائدة
الطماطم	الذبول الفيوزارى	*Fusarium oxysporum* f. sp. *lycopersici*	سائدة
الطماطم	تبقع الأوراق السبتورى	*Septoria lycopersici*	سائدة
الطماطم	ذبول متبقع	Tomato Spotted Wilt Virus	متنحية
الطماطم	عفن الرقبة	*Alternaria solani*	ذات سيادة غير تامة
الفاصوليا	موزايك أصفر	Yellow Bean Mosaic Virus	متنحية
فول الصويا	البثرات البكتيرية		متنحية
الكرنب	الاصفرار	*Fusarium oxysporum* f. *conglutinans*	طراز A – سائدة
الفجل	الصدأ الأبيض	*Albugo candida*	بسيطة
الخيار	الذبول البكتيرى	*Erwinia tracheiphila*	بسيطة
البسلة	الجذر الوردى	*Pyrenochaeta terrestris*	بسيطة
الفاصوليا	موزايك الفاصوليا العادى	Common Bean Mosaic Virus	متنحية (الجين a)
الكرنب	العفن الأسود	*Xanthomonas campestris* pv. *campestris* (١٩٧٨ Russell)	سائدة
القنبيط	العفن الأسود	*X. campestris* pv. *campestris* (١٩٨٦ Jamwal & Sharma)	سائدة
البطاطا	نيماتودا تعقد الجذور	*Meloidogyne* spp. (١٩٨٤ وآخرون Abobaker)	سائدة

هذا.. ويعرف أكثر من ٢٠ جينًا للمقاومة لسلالات مختلفة من صدأ الأوراق فى القمح، بينما يزيد عدد الجينات الخاصة بمقاومة صدأ الساق عن ٣٠ جينًا (عن Singh ١٩٩٣).

حالات مقاومة يتحكم فى وراثتها زوجان من الجينات

من أمثلة حالات المقاومة التى يتحكم فى وراثتها زوجان من الجينات ما يلى:

العائل	المرض/ الأعراض	الطفيل	المقاومة
البصل	البياض الزغبى	*Peronospora destructor*	الجينان سائدان
فاصوليا الليما	تبرقش		الجينان سائدان
الفاصوليا	موزايك	Common bean Mosaic Virus	الجينان متنحيان

ويُستدل من دراسات Barker وآخرين (١٩٩٤) أن مقاومة البطاطس (السلالتان G7032، و G7445) لفيرس التفاف أوراق البطاطس يتحكم فيها زوجان من الجينات السائدة غير المرتبطة والمكملة لبعضهما البعض؛ بمعنى أن كليهما ضرورى لاكتساب صفة المقاومة.

حالات مقاومة يتحكم فى وراثتها ثلاثة أزواج من الجينات

من أمثلة حالات المقاومة التى يتحكم فى وراثتها ثلاثة أزواج من الجينات ما يلى:

العائل	المرض/ الأعراض	الطفيل	المقاومة
البصل	الاسوداد	*Colletotrichum circinans*	تؤثر فيها السيادة والتفوق
البسلة	لفحة أسكوكيتا	*Ascochyta pisi*	الجينات سائدة
الخيار	الموزايك – مرحلة الأوراق الفلقية	Cucumber Mosaic Virus	الجينات مكملة لبعضها
الفاصوليا	موزايك	Common Bean Mosaic Virus	الجينات I، و s، و a

حالات مقاومة يتحكم فى وراثتها أكثر من ثلاثة أزواج من الجينات

من أمثلة حالات المقاومة التى يتحكم فى وراثتها أكثر من ثلاثة أزواج من الجينات ما يلى:

العائل	المرض/ الأعراض	الطفيل	المقاومة
الصليبيات	تدرن الجذور	*Plasmodiophora brassicae*	
الفاصوليا	عفن الجذر الفيوزارى	*Fusarium oxysporum* f. *solani*	جينات مكملة لبعضها
الكرنب	الاصفرار	*Fusarium oxysporum* f. *conglutinans*	طراز B
الطماطم	تلطخ الأوراق	*Fulvia fulva*	جينات رئيسية

حالات تتنوع فيها وراثة المقاومة بين مختلف المصادر

تعد المقاومة لفيرس موزايك الفاصوليا العادى Common Bean Mosaic Virus فى الفاصوليا من الحالات القليلة التى تختلف فيها وراثة المقاومة ما بين زوج واحد، وزوجين، وثلاثة أزواج من الجينات كما يلى:

١- يتحكم فى المقاومة البسيطة جين واحد متنح يأخذ الرمز a.

٢- تتوفر مقاومة أخرى ضد بعض سلالات الفيرس، ويتحكم فيها جينان متنحيان يأخذان الرمزين s، و a، كما فى الأصناف Michelite، و Samlac، وسلالات Greal Northern.

٣- تتوفر مقاومة ثالثة توجد فى معظم أصناف الفاصوليا الخضراء (مثل الصنف Corbet Refugee) ويتحكم فيها جين سائد I مثبط لتأثير الجينين S، و A الخاصين بالقابلية للإصابة، وبذا.. يصبح الصنف مقاومًا وتعد هذه المقاومة فعالة ضد جميع سلالات الفيرس

وجدير بالذكر أن المقاومة فى الحالتين الأولى والثانية تكون متنحية، بينما تظهر المقاومة فى الحالة الثالثة سائدة، لأن الجين السائد I يظهر تأثيره حتى وإن لم يحمل النبات جينات المقاومة المتنحية s، و a.

ويبين جدول (٨-١) أمثلة أخرى لحالات تتنوع فيها وراثة المقاومة بتنوع المصادر.

جدول (٨–١): وراثة المقاومة غير البسيطة لبعض الأمراض فى بعض المحاصيل الزراعية (عن Agrawal ١٩٩٨).

	المقاومة	
المحصول	المحدودة الجينات oligogenic	المتعددة الجينات polygenic
البصلة	اللفحة – فيرس مزايك البصلة – البياض الدقيقى	–
اللوبيا	فيرس التبرقش المصفر – فيرس موزايك اللوبيا – فيرس موزايك الخيار – تبقع أوراق سركسبورا – لفحة الأوراق البكتيرية	–
الفاصوليا	تبقع الأوراق الزاوى	العفن الأبيض – عفن الجذور الرايزكتونى – عفن بذور بثيم – الذبول الطرى – اللفحة الهالية
البامية	فيرس الموزايك واصفرار العروق	–
الخيار	تبقع الأوراق الزاوى	–
القنبيط	–	العفن الأسود
الكرنب	العفن الأسود	–
الخس	البياض الزغبى	–
الكرفس	الاصفرار الفيوزارى	–

ولمزيد من التفاصيل حول وراثة المقاومة للأمراض.. يراجع Boller & Meins (١٩٩٢)، كما يتناول Staskawicz وآخرون (١٩٩٥) موضوع الوراثة الجزيئية لمقاومة الأمراض.

حالات خاصة بالمقاومة للأمراض الفيروسية

حصر بحالات وراثة المقاومة للأمراض الفيروسية

إن المقاومة للفيروسات يتحكم فيها – فى معظم المحاصيل الزراعية – جين واحد سائد، وربما يرجع شيوع تلك المقاومة البسيطة إلى بحث المربين عنها أثناء برامج التربية، كما أن السيادة غير التامة قد تكون مجرد انعكاس لجرعة الجين فى

الجيرمبلازم المختبر، أو بسبب العوامل البيئية. ويبين جدول (٨-٢) ملخصًا بعدد حالات المقاومة التى درست، وطبيعة وراثتها.

جدول (٨-٢): ملخص بعدد جينات المقاومة للفيروسات المعروفة (عن Hull ٢٠٠٢).

حالات المقاومة	البسيطة Monogenic	القليلة الجينات Oligogenic والمتعددة Polygenic
السيادة	٨١	١٠
التنحى	٤٣	٢٠
السيادة غير التامة	١٥	٦
غير المعروفة	–	٤
المجموع	١٣٩	٤٠

وكان Provvidenti & Hampton (١٩٩٢) قد قاما بعمل حصر لحالات المقاومة لعدد ٥٦ فيروسًا من الـ Potyvirıdae فى ٣٣٤ نوعًا نباتيًا، وتبين أن غالبيتها كانت بسيطة وسائدة (٦٠ جينًا للمقاومة)، أو بسيطة ومتنحية (٣٩ جينًا للمقاومة)، بينما ظهرت بعض الحالات التى تحكم فيها جينين أو أكثر للمقاومة

ويبين جدول (٨-٣) أمثلة متنوعة لحالات مقاومة سائدة، وأخرى غير تامة السيادة، وثالثة تبدو فيها المقاومة متنحية

كما يقدم جدول (٨-٤) لعديد من حالات المقاومة البسيطة للفيروسات مع عرض لخصائصها.

جدول (٨-٣): أمثلة لحالات المقاومة للفيروسات فى المحاصيل الزراعية (عن Hull ٢٠٠٢).

جين المقاومة	النوع النباتى	الفيرس	تواجد السلالات القادرة على كسر المقاومة
المقاومة السائدة			
Zym[1]	*Cucurbita moschata*	فيرس موزايك الزوكينى الأصفر ZYMV	لا توجد
Tm-2	*Solanum lycopersicum*	فيرس موزايك التبغ	توجد
Tm-2^2	*S. lycopersicum*	فيرس موزايك التبغ	توجد
Nx, Nb	*Solanum tuberosum*	فيرس إكس البطاطس PVX	توجد
By, By-2	*Phaseolus vulgaris*	فيرس موزايك الفاصوليا الأصفر BYMV	توجد
Rsv_1, Rsv_2	*Glycine max*	فيرس موزايك فول الصويا SbMV	توجد
المقاومة غير تامة			
السيادة:			
Tm-1	*S. lycopersicum*	فيرس موزايك التبغ	توجد
L1,L2, L3	*Capsicum* spp.	فيرس موزايك التبغ	توجد
جينان	*Hordeum vulgare*	فيرس موزايك الشعير المخطط BSMV	توجد
عدة جينات	*Vigna sinensis*	فيرس موزايك اللوبيا الجنوبى SCPMV	؟
المقاومة تبدو متنحية:			
by-3	*P. vulgaris*	فيرس موزايك الفاصوليا الأصفر	لا توجد
sw_2, sw_3, sw_4	*S. lycopersicum*	فيرس ذبول الطماطم المتبقع TSWV	توجد

أ- يتحكم فى المقاومة ثلاثة جينات، هى Zym-1، و Zym-2، و Zym-3، ولكن الجين Zym-1 فقط هو الأساسى، بينما يخفض الجينان Zym-2، و Zym-3 درجة القابلية للإصابة.

جدول (٨–٤): أمثلة على بعض حالات المقاومة للفيروسات وخصائصها (عن Fraser ١٩٩٠).

جين المقاومة	المحصول	الفيرس(أ)	خصائص المقاومة أو جين المقاومة	تواجد السلالات القادرة على كسر المقاومة
Rcv	فول الصويا	CCMV	فرط الحساسية	توجد
جين سائد	اللوبيا	CPMV	مثبط للبروتييز الفيروسي – فعال في البروتوبلاست	توجد
Wmv	القاصوليا	WMV-2	يمنع الإصابة الجهازية ويسمح بتكوين البقع الموضعية	لا توجد
Hsw	القاصوليا	WMV-2	فرط الحساسية	لا توجد
Wmv	*Cucumis metuliferus*	PRV	مناعة – فعال في البروتوبلاست	لا يعرف
عدة جينات سائدة من أنواع *Solanum* البرية	البطاطس	PVY	فرط الحساسية	توجد
Ry	البطاطس	PVY	مناعة – فعال في البلاوتوبلاست	لا توجد
جين سائد	البطاطس	PLRV	يمنع تكاثر الفيرس	لا يعرف
جين ذو سيادة غير تامة	اللوبيا	SBMV	فعّال جهازيًا	لا يعرف
جين ذو سيادة غير تامة	الكرنب	TuMV	فعّال جهازيًا	توجد
جين ذو سيادة غير تامة (Tlc)	الطماطم	TYLCV	فعّال جهازيًا	لا يعرف
zym	الخيار	ZYMV	يمنع تكاثر الفيرس	لا توجد
Sbm1,2,3,4 (٤ جينات مستقلة التأثير)	البسلة	PSbMV	يمنع تكاثر الفيرس، وظهور الأعراض والانتقال بطريق البذور	توجد
جينان	الكوسة	CMV	مقاومة الانتشار من الأوراق التي حدثت فيها الإصابة	لا توجد

أ– الفيروسات المشار إليها في الجدول هي كما يلي

CCMV: cowpea chlorotic mottle virus

ZYMV: zucchini yellow mosaic virus

CPMV: cowpea mosaic virus

CMV: cucumber mosaic virus

WMV-2: watermelon mosaic virus-2
SBMV: southern bean mosaic virus
TYLCV: tomato yellow leaf curl virus
PRV: papaya ringspot virus
PLRV: potato leaf roll virus
PVY: potato virus Y
PSbMV: pea seed-borne mosaic virus

التباينات فى وراثة المقاومة للأمراض الفيروسية

على الرغم من أن غالبية حالات المقاومة للفيروسات التى دُرست وجد أنه يتحكم فى كل منها جين واحد، فإنه تُعرف — كما أسلفنا ذكره — بعض الحالات التى كانت وراثتها مخالفة لذلك وأكثر تعقيدًا، ومن أمثلة ذلك ما يلى:

١- فى حالات قليلة وجد أن المقاومة يتحكم فيها عدد محدود من الجينات، أى إنها oligogenic، كما فى حالة مقاومة الفاصوليا لفيرس موزايك الفاصوليا العادى.

٢- يتحكم أحيانًا جينًا واحدًا فى المقاومة لأكثر من فيرس، ومن الأمثلة على ذلك ما يلى:

أ- يتحكم جين واحد متنحٍ فى مقاومة الفلفل لكل من فيرس واى البطاطس، وفيرس إتش التبغ.

ب- يتحكم جين واحد متنحٍ — كذلك — (الجين mo) فى مقاومة البسلة لكل من فيرس موزايك الفاصوليا الأصفر BYMV، وفيرس موزايك البطيخ رقم ٢ WMV-2.

ج- تتماثل أو تتشابه وتتقارب بشدة الجينات السائدة التى تتحكم فى تفاعل فرط الحساسية فى الفاصوليا ضد كل من فيرس موزايك الفاصوليا العادى BCMV، وفيرس

موزايك اللوبيا (ذات العيون السوداء) BICMV، وفيرس موزايك فول الصويا SMV، وفيرس موزايك اللوبيا المنقول بالمنّ CAbMV، وفيرس موزايك البطيخ

٣- كثيرًا ما نجد أن جينات المقاومة لعدد من الفيروسات تتجمع فى مناطق محددة من الكروموسومات، ومن أمثلة ذلك ما يلى:

أ- جينات المقاومة فى البسلة لسلالة العدس من كل من: فيرس موزايك البسلة المنقول بالبذور PSbMV، وفيرس موزايك الفاصوليا الأصفر BYMV، وفيرس موزايك البطيخ رقم ٢ WMV-2، وفيرس اصفرار عروق الكلايتوريا Clitoria yellow vein virus (CYVV)، والسلالة NL-8 من فيرس موزايك الفاصوليا العادى BCMV. وجميعها متنحية وترتبط بشدة على الكروموسوم رقم ٢.

ب- يوجد ارتباط قوى بين جينى المقاومة لكل من فيرس موزايك البطيخ WMV وفيرس موزايك الزوكينى الأصفر ZYMV فى القاوون.

ج-يوجد كذلك ارتباط قوى بين جينات المقاومة لكل من سلالة البطيخ لفيرس بقع الباباظ الحلقية PRSV-W، وفيرس موزايك الزوكينى الأصفر ZYMV، وفيرس موزايك البطيخ WMV، وفيرس موزايك البطيخ المغربى MWMV فى الخيار (عن Hull ٢٠٠٢)

حالات خاصة بالمقاومة للأمراض النيماتودية

يتحكم فى معظم حالات المقاومة المعروفة ضد النيماتودا الداخلية التطفل جينًا واحدًا رئيسيًّا، كما أن معظم تلك الحالات تكون فيها الإصابة (اختراق يرقات النيماتودا لجذور العائل) مصاحبة بتحلل موضعى شبيه بتفاعل فرط الحساسية. ولقد ظهرت بالفعل — فى عديد من الحالات — عشائر نيماتودية كانت قادرة على إصابة النباتات الحاملة لجين المقاومة، كما يظهر فى جدول (٨-٥).

جدول (٨-٥): بعض حالات المقاومة للنيماتودا التى ظهرت مقابلها عشائر نيماتودية قادرة على إصابتها (عن Castagnone-Serena ٢٠٠٢).

النوع النباتى	جين المقاومة	النوع النيماتودى
Vigna unguiculata	Rk	*Meloidogyne incognita*
Solanum lycopersocum	Mi	*M. arenaria*، *M. javanica*، *M. incognita*
Solanum fendleri	Rmc	*M. chitwoodii*
Capsicum annuum	Me	*M. incognita*
Solanum tuberosum	H1	*Globadera rostochiensis*
Beta spp.	Hs1 $^{pro-1}$	*Heterodera schachtii*
Glycine max	(كمية)	*H. glycines*

ولقد أمكن تحت الظروف المتحكم فيها فى الصوبات انتخاب سلالات من *M. incognita* كانت قادرة على إصابة نباتات الطماطم الحاملة للجين Mi، مع تحقيق زيادة مضطردة فى ضراوتها، ظهرت فى صورة زيادة فى أعداد الأفراد النيماتودية التى كانت قادرة على كسر جين المقاومة جيلاً بعد جيل. ولكن تجدر الإشارة إلى أن هذا الاختبار لم يكن ناجحًا لا مع كل عشائر النيماتودا التى درست ولا مع كل جينات المقاومة التى اختبرت.

إلاّ أن ذلك لا يعنى عدم ثبات أى مقاومة ضد النيماتودا، بل إن العكس هو الصحيح. ومن أكثر حالات المقاومة للنيماتودا — المعروفة — ثباتًا حالة الجين H1 المسئول عن مقاومة البطاطس للنيماتودا *Heterodera rostochiensis* الذى استعمل على نطاق واسع فى أصناف البطاطس منذ سبعينيات القرن العشرين دون أن تظهر عشائر نيماتودية قادرة على إصابتها (عن Castagnone-Sereno ٢٠٠٢).

هذا.. وتتوفر المقاومة لنيماتودا تعقد الجذور فى عديد من الأصناف التجارية لمحاصيل الخضر، ومن أمثلة ذلك ما يلى:

المحصول	مصدر المقاومة	وراثة المقاومة
الطماطم	Anahu ، و Small Fry، و VFN8	جين واحد سائد (Mi) لمقاومة الأنواع النيماتودية *M. incognita*، و *M. javanica*، و *M. arenaria*
الفلفل	Santanka	جين واحد سائد لمقاومة *M. incognita*
القاصوليا	Alabama No.1، و Manoa Wonder	ثلاثة أزواج من الجينات لمقاومة *M. incognita*
اللوبيا	Mississipi Silver	جين واحد سائد (Rk) لمقاومة *M. incognita*، و *M. javanica*
البطاطا		جين واحد سائد لمقاومة *M. incognita*، و *M. javanica*

وحتى بداية ثمانينيات القرن العشرين كان يعرف أكثر من ٤٥٠ صنفًا نباتيًا من ١٣ عائلة يحمل كل منها مقاومة لنوع واحد — على الأقل — من أنواع الجنس *Meloidogyne* (عن Fassuliotis ١٩٨٥، و Kalloo ١٩٨٨).