طرق انتقال الفيروسات النباتية

تتنوع كثيرًا الطرق التى تنتقل بها الفيروسات النباتية، ولكن كل فيرس منها يتميز بأن له طريقة أو طرقًا معينة ينتقل بها لا يمكنه الانتقال بغيرها. وتفيد دراسة تلك الطرق فيما يلى:

١ – التعرف على أفضل الطرق لمكافحة الفيرس، وهى التى تعتمد على منع انتقال الإصابة أصلا.

٢ – تمكين الباحثين من إجراء كافة الدراسات التى تعتمد على العدوى الصناعية بالفيرس؛ بما فى ذلك دراسات التربية لمقاومة الفيرس.

٣ – تعد وسيلة – أو وسائل – انتقال الفيرس من الخصائص المميزة التى تفيد فى تحديد هوية الفيرس.

ونقدم – فيما يلى – شرحا للطرق التى تنتقل بها الفيروسات النباتية.

الانتقال الميكانيكى Mechanical Transmission بالعصير الخلوى

على الرغم من أن العصير الخلوى للأوراق المصابة يعد هو المصدر الرئيسى للفيروسات فى حالات الحقن الميكانيكى، فإنه يجب عدم إهمال الأنسجة النباتية الأخرى نظرًا لما يحتويه العصير الخلوى غالبًا من مثبطات فيروسية؛ فمثلا .. تعد بتلات أزهار الخيار مصدرًا أفضل لفيرس موزايك الخيار عن الأوراق التى تكثر بها المثبطات الفيروسية، وتعد جذور التبغ أكثر محتوى لفيرس تحلل التبغ TNV عن الأوراق.

إن الانتقال بالعصير الخلوى (Sap Transmission) يجرى بإضافة المستخلص النباتى المحتوى على الفيرس (اللقاح Inoculum) على سطح أوراق نباتات سليمة. ولأجل نفاذ جزيئات الفيرس إلى داخل النسيج الورقى للنبات السليم .. يلزم تجريح سطح الورقة (طبقتا الأديم، والبشرة) صناعيًا.

وعندما يكون النبات المحقون بهذه الطريقة قابلاً للإصابة .. فإنه قد يستجيب للعدوى بأى مما يلى:

١ – ظهور بقع موضعية (محلية) Local Lesions على الأوراق المعدية بالفيرس.

٢ – ظهور أعراض جهازية Systemic Symptoms كالتبرقش، والموزايك، وتشوهات الأوراق، والبقع الموضعية المنتشرة فى كل أجزاء النبات.

٣ – عدم ظهور أية أعراض:

يلاحظ فى الحالة الأخيرة أن الفيرس يتكاثر داخل النبات، برغم عدم ظهور أية أعراض عليه، ويرجع ذلك إما إلى أن العائل يتحمل الإصابة Tolerant بالفيرس، وإما لتأثير العوامل البيئية التى قد تخفى أعراض الإصابة.

وبالمقارنة بالحالات السابقة التى يكون فيها العائل قابلا للإصابة .. فإن العدوى الميكانيكية لا يترتب عليها ظهور أية أعراض مرضية فى حالتين أخريين؛ هما:

١ – حالة المقاومة Resistance:

وفيها ينجح الفيرس فى دخول النبات ولكن لا يمكنه التكاثر فيه، ولا ينتقل إلى أجزاء أخرى منه.

٢ – حالة المناعة Immunity:

وفيها لا يتمكن الفيرس من مجرد دخول النبات.

وتجدر الإشارة إلى أن الفيروسات لا تنتقل جميعها ميكانيكيا، برغم شيوع تلك الوسيلة للانتقال بين الفيروسات النباتية؛ فلا تنتقل – عادة ميكانيكيا – الفيروسات التى تنتقل بواسطة نطاطات الأوراق، والذباب الأبيض، وكذلك الفيروسات المتبقية (المثابرة) Persistent وشبه المتبقية (شبه المثابرة) Semipersistent التى تنتقل بواسطة المنّ.

ونتناول – فيما يلى – موضوع الانتقال الميكانيكى من الأوجه التالية:

أولاً: اختيار العوائل الدالة على الفيرس

تعطى العوائل الدالة على الفيرس Indicator Hosts أعراضًا مميزة عند عدواها به.

ويمكن – عند استخدام مجموعة منها – التمييز بين الفيروسات على أساس اختلاف تلك العوائل فى مقاومتها (مناعتها) وقابليتها للإصابة بمختلف الفيروسات.

وأكثر النباتات الدالة استخداما هى:

Chenopodium amaranticolor (يصاب بأكثر من ٤٠ فيرسا)
Chenopodium quinoa
Cucumis sativus
Datura stramonium
Gomphrena globosa
Nicotiana benthamiana
Nicotiana glutinosa
Nicotiana tabacum 'Xanthi'
Nicotiana tabacum 'Samsun'
Phaseolus vulgaris 'Pinto'
Vicia faba
Vigna ungiculata

ويمكن الحصول على بذور الأنواع غير المتوفرة لدى الباحث من تلك العوائل الدالة من :

Plant Introduction
Germplasm Resources Laboratory
Agricultural Research Center
Beltsville, MD.
U.S.A.

ويتعين عند إكثار بذور هذه الأنواع النباتية أن يجرى ذلك فى صوبة سلكية منيعة ضد الحشرات.

ومن المعروف أن خفض شدة الإضاءة يزيد من قابلية بعض النباتات للإصابة ببعض الفيروسات، ولذا يوصى بإبقاء نباتات العوائل الدالة فى الظلام لعدة ساعات، أو ليوم أو يومين، لأن ذلك قد يزيد من قابليتها للإصابة.

وللتخلص من الطفيليات والفيروسات التى تعيش فى التربة .. يتعين تعقيم التربة – التى تزرع فيها النباتات – بالبخار على ١٠٠م لمدة نصف ساعة.

كما يتعين عن إجراء الاختبار أن تكون الزراعة فى صوبة خالية من الحشرات، أو فى صوبة سلكية منيعة ضد الحشرات، وأن تعزل النباتات السليمة بمفردها فى حجرة منفصلة، لكى لا يصل إليها الفيرس من النباتات المصابة، وأن ترش جميع النباتات فى الصوبة دوريًا بالمبيدات الحشرية المناسبة لمنع تكاثر الحشرات.

ثانيا: تحضير اللقاح

إن اللقاح هو العصير الخلوى الذى يستخلص من النباتات المصابة. ويتعين – عند اختبار الأوراق المصابة التى يستخلص منها الفيرس – أن تؤخذ الأمور التالية فى الحسبان:

١ – ليس من الضرورى أن يكون محتوى الأوراق من الفيرس مرتبطًا – دائمًا – بشدة الأعراض التى تظهر عليها.

٢ – توجد التركيزات العالية من الفيرس – غالبًا – فى الأنسجة الحديثة.

٣ – لا يمكن انتقال بعض الفيروسات إلا فى أوقات معينة من السنة.

ولاستخلاص العصير الخلوى .. تسحق الأوراق المصابة فى هاون صينى مع محلول منظم مناسب بنسبة جزء من الأوراق: ٢— ٥ أجزاء من المنظم. وأكثر المحاليل المنظمة استخداما منظم الفوسفات بتركيز٠,٠١ مولار و pH= ٧,٠.

ويحضر منظم الفوسفات بتحضير محلولين كما يلى:

محلول(أ): ١,٣٦جم KH_2PO_4 فى ١٠٠٠ مل ماء.

محلول (ب): ١,٧٨جم $Na_2HPO_4 .2H_2O$ فى ١٠٠٠ مل ماء.

يخلط ٥١,٠ مل من محلول (ب) مع ٤٩,٠ مل من محلول (أ) لنحصل على ١٠٠ مل من منظم الفوسفات بتركيز ٠,٠١ مولار، و pH= ٧,٠.

وتفيد كثيرًا إضافة مادة محدثة للجروح Abrasive إما إلى سطح الأوراق قبل عدواها

بالفيرس، وإما إلى اللقاح ذاته، لإحداث الجروح التى يدخل من خلالها الفيرس إلى النبات.

ويعد الكربورندم Carborandum أكثر المواد استخدامًا فى هذا الشأن، وهو عبارة عن مسحوق كربيد السيليكون Silicon Carbide (٤٠٠-٦٠٠مش Mesh .. أى تنفذ حبيباته من غرابيل دقيقة تحتوى على ٤٠٠-٦٠٠ ثقب بكل بوصة طولية) مع السيليت Celite. ويستخدم الكاربورندم - فى حالة إضافته إلى اللقاح - بنسبة ٠,٥-١,٠٪ على أساس الحجم.

وتحتوى عديد من النباتات على مركبات يؤدى وجودها فى العصير الخلوى المستخلص من النباتات المصابة إلى تثبيط نشاط الفيروسات، أو تقليل فاعليتها فى إحداث الإصابة، أو الحد من كفاءة انتقالها. ويمكن تجنب تأثير هذه المركبات باستعمال ما يعرف بالإضافات المثبتة Stabilizing Additives؛ وهى مواد تعمل إضافتها إلى اللقاح - على تثبيت فاعلية الفيروسات حتى مع وجود المركبات المثبتة لها فى العصير الخلوى.

ومن المركبات المستخدمة فى هذا المجال ما يلى:

المركب	التركيز
Ethylenediamine tetraacetic acid trisodium salt (EDTA)	٠,١-٠,٠٠٠٥ مولارًا
Thioglycollic acid (TGA)	٠,١-٠,٠١ مولارًا
2- Mercaptoethanol (MCE)	٠,١٥-٠,٠١٥ مولارًا
Sodium diethyldithiocarbamate (DIECA)	٠,١-٠,٠١ مولارًا
Ascorbic acid (Vitamin C)	٠,١٧-٠,٠٢ مولارًا
Sodium sulfite (Na_2SO_3)	٠,٠٥-٠,٠٢ مولارًا
Bovine serum albumine	٠,٠١٪

تضاف أى من المركبات السابقة فى حدود مجال التركيز الموضح قرين كل منها. ويتوقف اختيار المركب والتركيز على كل من الفيرس والعائل المستخلص منه.

ثالثا: طريقة التلقيح (العدوى) الميكانيكية

تجرى الطريقة الروتينية للعدوى الميكانيكية بالفيرس كما يلى: يسحق نحو ٣جم من الأوراق المصابة بالفيرس مع ١٠-٢٠مل من محلول منظم الفوسفات (pH= ٧,٠) فى هاون صينى معقم. يضاف EDTA، أو DIECA كمادة مثبتة. يحك المعلق على سطح الأوراق السليمة للعوائل الدالة بعد نثر قليل من الكربورندم على سطحها، ويلى ذلك غسيل الأوراق المعدية بالماء.

ويجب أن تؤخذ الأمور التالية فى الحسبان عند إجراء العدوى الميكانيكية:

١ - يعدى نباتان - على الأقل - من كل من العوائل الدالة، مع الاحتفاظ بنبات آخر سليم من كل منها لمقارنة النمو الطبيعى بما قد يظهر من أعراض على النباتات المعدية.

٢ - قد يساعد إبقاء نباتات العوائل الدالة فى الظلام (لعدة ساعات، أو ليوم أو يومين قبل عدواها بالفيرس) على زيادة قابليتها للإصابة.

٣ - تكون النباتات الصغيرة - بوجهٍ عام - أكثر قابلية للإصابة بالفيروسات من النباتات الكبيرة العمر.

٤ - تكون النباتات - بوجهٍ عام - أكثر قابلية للإصابة بعد الظهر.

٥ - تجرى العدوى على السطح العلوى للأوراق، وتختلف الورقة المناسبة باختلاف العائل، فهى الأوراق الأولية فى البسلة والفاصوليا، والفلقات فى الخيار، والأوراق الرابعة إلى الثامنة فى الـ *Chenopodium*، وأية ورقة على النبات فى مرحلتى نمو الورقتين الحقيقيتين الثالثة والرابعة فى التبغ، وعند تكوين زوج الأوراق الأول والثانى فى الداتورة.

٦ - يجب أن تكون الزجاجيات المستخدمة فى عملية العدوى معقمة، ويجرى التعقيم فى الأتوكليف على ١٢٠م لمدة ٣٠ دقيقة، أو بوضع الزجاجيات فى ماء يغلى لمدة ثلاث ساعات.

٧ - إما أن ينثر الكربورندم على سطح الأوراق قبل عدواها بالفيرس، وإما أن يضاف إلى اللقاح ذاته.

٨ – تجرى عملية العدوى بحك اللقاح على سطح الورقة برفق، مع استعمال قطعة من القطن، أو قطعة ذات عدة طبقات من الشاش، أو قضيب زجاجى ذى نهاية مبططة.

٩ – يجب غسيل الأوراق بالماء بعد العدوى مباشرة، إذ يُعتقد أن ذلك يساعد على التخلص من السموم الطبيعية التى قد توجد فى اللقاح وتعيق الإصابة الفيروسية، كما يفيد فى تقليل الأضرار التى قد تحدثها المركبات الكيميائية التى تضاف إلى اللقاح، وتساعد على وضوح أعراض الإصابة فيما بعد.

١٠ – يؤدى وضع النباتات فى الظلام لعدة ساعات – بعد عدواها بالفيرس – إلى جعلها أكثر قابلية للإصابة، وأسرع فى ظهور الأعراض عليها.

١١ – يجب تجفيف الأوراق سريعًا بعد غسيلها، ويجرى ذلك إما باستعمال تيار هوائى من رشاشة يدوية صغيرة atomizer، وإما باستعمال ورق نشاف.

رابعًا: ظهور وتسجيل أعراض الإصابة

تجب ملاحظة النباتات يوميًّا لعدة أسابيع، وتمتد الفترة لعدة شهور فى حالة النباتات الخشبية، مع مقارنة الأعراض المشاهدة بمظهر النباتات السليمة النامية تحت نفس الظروف. تظهر على كثير من النباتات بقع موضعية، إلا أن أعراضًا أخرى قد تظهر كذلك. ويجب التمييز بين الأعراض المحلية التى تظهر على الأوراق التى تمت عدواها بالفيرس، والأعراض الجهازية التى تظهر على الأجزاء الأخرى من النبات.

ونذكر – فيما يلى – أكثر الأعراض ظهورا، والرموز التى تستخدم فى الإشارة إليها.

الأعراض	الرمز
بقع موضعية (أو محلية) Local lesions	LL
بقع موضعية متحللة necrotic local lesions	nLL
بقع موضعية مصفرة chlorotic local lesions	cLL
شفافية العروق vein clearing	Vc
موزايك mosaic	M
تبرقش mottle	Mo

الأعراض	الرمز
تحلل جهازى systemic necrosis	N
تشوه malformation	Mal
بقع حلقية ringspot	RS

خامسًا: اختبار النقط الموضعية

يستخدم اختبار النقط الموضعية Local Lesion Assay فى قياس تركيز الفيروسات النباتية كميًا. ويبنى هذا الاختبار على أساس أن بعض العوائل تستجيب للعدوى ببعض الفيروسات بتكوين بقع محلية متحللة منفردة. وقد يستمر الوضع المحلى المنفرد لهذه البقع، أو تتجمع وتلتحم معا، أو تصبح الإصابة جهازية. ويتوقف ذلك على الفيرس والعائل. وعند استخدام المجال المناسب من تركيز الفيرس، فإن اختبار النقط الموضعية يعطى دليلاً قويًا على تركيزه فى المصدر الأصلى (اللقاح أو العصير الخلوى للنبات المصاب)

ومن أهم العوامل التى يتعين أخذها فى الحسبان عند إجراء هذا الاختبار ما يلى:

١ – أن تكون جميع النباتات المستخدمة فى الاختبار بعمر واحد، وحجم واحد، ولون واحد، وحصلت على معاملات سمادية واحدة.

٢ – تقليل عدد أوراق النبات – بالتقليم – إلى أربع أوراق أو خمس فقط، مع إزالة القمة النامية فى حالة استعمال *N. glutinosa*.

٣ – قد يكون من المفضل إجراء المقارنات بين أنصاف الأوراق المتقابلة، لأن النتائج تكون أكثر دقة، إذ إن الاختبار يلزمه – فى هذه الحالة – عدد أقل من النباتات. والأفضل من ذلك اختيار أحد تحضيرات الفيرس ليكون قياسيًا واستعماله فى عدوى أنصاف الأوراق، بينما تعدى الأنصاف المقابلة لها بالتحضيرات الأخرى، وبذا .. يمكن مقارنة كل تحضير بالتحضير القياسى، ومقارنة مختلف التحضيرات ببعضها البعض بطريقة غير مباشرة من خلال نتائج التحضير القياسى.

٤ – يمكن استعمال تصميم المربع اللاتينى دونما حاجة إلى تكرار استعمال التحضير القياسى .. فإذا كان لدينا خمسة تحضيرات للفيرس، فإنها تستخدم فى عدوى خمس أوراق بكل من خمسة نباتات (خمس مكررات)، بحيث يختلف ترتيب الأوراق المستخدمة فى العدوى بكل من التحضيرات الخمسة حسب شروط المربع اللاتينى.

٥ – يحسن فى حالة استعمال أنصاف الأوراق أن يعدى بالتحضير الواحد النصف الأيسر لإحدى الأوراق، والنصف الأيمن لورقة أخرى؛ لمعادلة حالة عدم التوازن التى قد تنشأ نتيجة لعدم تداول النصفين بنفس الكيفية.

٦ – يلزم الحرص الشديد عند استعمال الكربورندم حتى لا تُضار الأوراق.

٧ – التزام الحرص عند حك الأوراق، مع مراعاة تجانس عملية الحك.

٨ – غسل الأوراق أو أنصاف الأوراق بالماء بعد الحقن مباشرة، على ألا تزيد فترة الغسيل على ٢ – ٣ ثوان.

٩ – اختيار العائل المناسب للاختبار بعناية، فمثلا تستخدم الفاصوليا، و *Nicotiana glutinosa* مع فيرس موزايك التبغ، و *Gomphrena globosa* مع فيرس إكس البطاطس (Smith ١٩٧٧).

ولمزيد من التفاصيل عن العوامل التى تؤثر فى عملية الانتقال الميكانيكى .. يراجع Hull (٢٠٠٢).

الانتقال بالتطعيم

تنتقل كل الفيروسات بواسطة التطعيم. وتجرى عملية التطعيم باستخدام شفرة حلاقة حادة (للأنسجة الحديثة)، أو مشرط حاد (للأنسجة الخشبية)، وشريط بلاستيكى بعرض حوالى سنتيمترين. ويجب تطهير الشفرة أو المشرط باللهب قبل استعمالها.

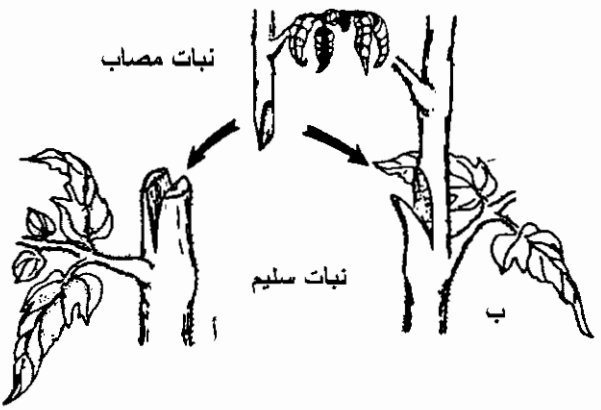
ونذكر – فيما يلى – أهم طرق التطعيم المستخدمة فى الدراسات الفيروسية.

١ – التطعيم بالشق Cleft Grafts .. ويوجد منه نوعان (شكل ٨–٣).

أ – التطعيم بالشق القمى Top Cleft Grafting .. يعرف كذلك باسم Clelt

Grafting. وهذه الطريقة شائعة الاستعمال مع كل من النباتات العشبية والخشبية، وهى تجرى بقطع قمة النبات المصاب، ثم عمل شق يمر بمركز الساق لعمق ٢–٣سم. ويلى ذلك قطع قاعدة الطعم (الذى يؤخذ من نبات سليم) على شكل وتد بطول يتناسب مع عمق الشق، وتثبيته بإحكام فى الشق، ثم لف منطقة الاتصال بالشريط البلاستيكى. تلاحظ أعراض الإصابة بعد ذلك فى النموات الجديدة التى تظهر على الطعم، ويفيد قطع قمة النمو فى الطعم – بعد نجاح التطعيم – فى تكوين نموات جانبية جديدة تكون أعراض الإصابة عليها أكثر وضوحًا.

ب – التطعيم بالشق الجانبى Side Cleft Grafting .. ويجرى بعمل شق جانبى مائل فى ساق النبات المصاب (الأصل) تثبت فيه بإحكام قطعة من ساق النبات السليم (الطعم) تكون جهزت قاعدتها على شكل وتد، ثم تلف منطقة الاتصال بشريط بلاستيكى.



شكل (٨–٣): التطعيم بالشق: (أ) القمى، (ب) الجانبى.

٢ – التطعيم باللصق Approach Graft:

يجرى التطعيم باللصق بقطع جزأين طوليين متقابلين ومتساويين من ساقى النباتين المصاب والسليم، مع مراعاة تساوى الساقين فى السمك، ووصول القطع فى كل منهما إلى الكامبيوم. يلى ذلك ضم الساقين معا عند منطقة القطع، ولف منطقة الاتصال بشريط بلاستيكى (شكل ٨–٤). ولتشجيع تكوين نموات جانبية حديثة على النبات السليم (حيث يكون ظهور الأعراض عليها أكثر وضوحا) .. تقطع قمته النامية.

شكل (٨-٤): التطعيم باللصق.

الانتقال بواسطة الحامول

ينتمى الحامول dodder إلى الجنس *Cuscuta*، وهو من النباتات المتطفلة التى تعتمد فى غذائها على غيرها من النباتات، حيث تلتصق بها، ثم ترسل بداخلها ممصات Haustoria جذرية الشكل. وتوجد عدة أنواع من الجنس *Cuscuta* تعرف بقدرتها على نقل الفيروسات من النباتات المصابة إلى السليمة، وأكثرها شيوعا كل من *C. campestris*، و *C. subinclusa*.

ولإجراء اختبار نقل فيرس ما .. تنمى نباتات حامول من البذرة لضمان خلوها من الفيرس. ثم يوضع الحامول مجاورًا وملامسا للنبات المصاب بالفيرس، حيث يلف الحامول ساقه حول ساق وأوراق النبات المصاب بالفيرس، ويرسل بداخله الممصات التى يعتمد عليها فى الحصول على غذائه منه. ويعنى ذلك انتقال العصير الخلوى من النبات المصاب بالفيرس إلى الحامول. وعندما يتم التأكد من حدوث الاتصال البيولوجى بين النباتين .. توجه ساق الحامول نحو النبات السليم، حيث يتصل به بيولوجيا كذلك، ويتبع ذلك انتقال الفيرس إليه إذا كان من الفيروسات التى تنتقل خلال الحامول.

الانتقال بواسطة الحشرات

يوجد من بين أقسام قبيلة مفصليات الأرجل Arthopoda قسمان بهما أفراد قادرة على التغذية على النباتات الخضراء، هما: قسم العناكب Arachnida، وقسم الحشرات Insecta، وكلاهما يضم أفرادًا قادرة على نقل الفيروسات.

وتتواجد أكثر النواقل الفيروسية - من حيث العدد - فى رتبة متشابهة الأجنحة Homoptera التى تضم المن، ونطاطات الأوراق، ونطاطات النباتات، والذباب الأبيض، والبق المغبَّر mealybugs، وجميعها تحتوى على أجزاء فم ثاقبة ماصة تكون مثالية لنقل الفيروسات من النباتات المصابة إلى السليمة.

أولاً: الأمور العامة

١ - التجهيزات والأدوات اللازمة:

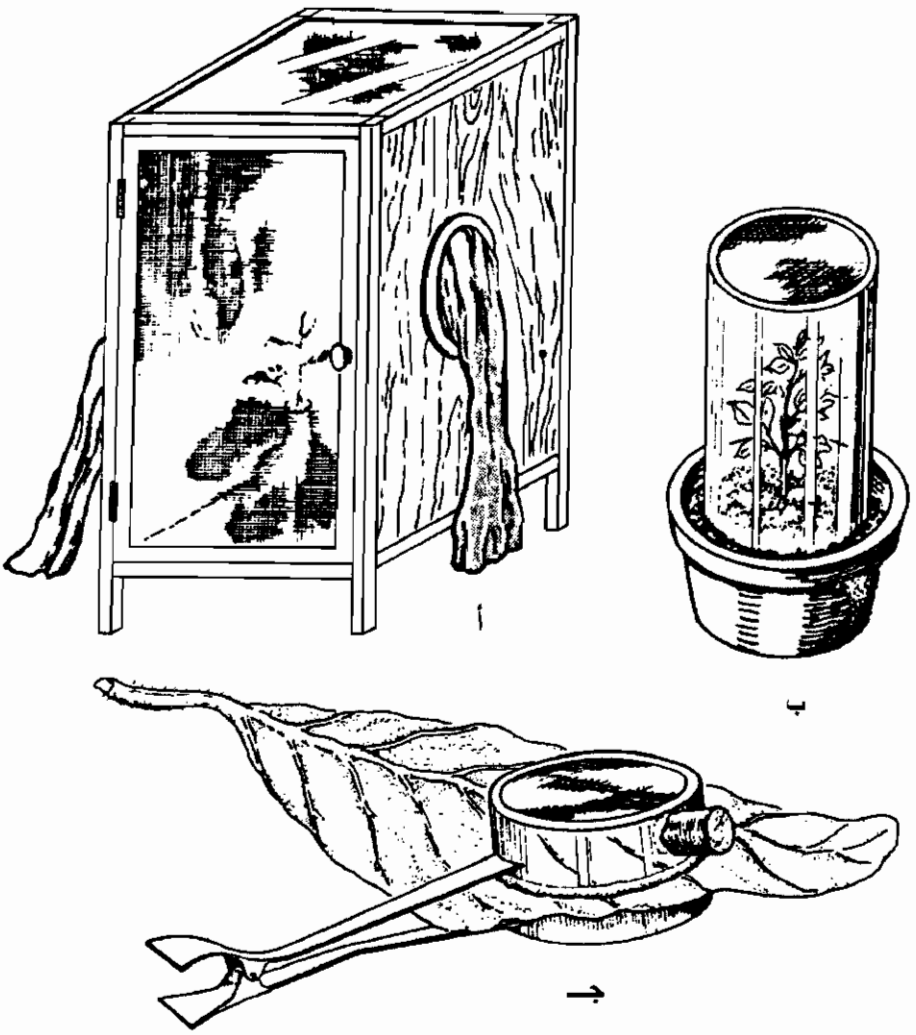
تحتاج اختبارات الانتقال الحشرى للفيروسات إلى تجهيزات وأدوات معينة لتداول الحشرات، من أهمها ما يلى:

أ - حجيرات أو أقفاص خاصة Cages:

الـ Cage هو أى حيز محدود ومجهز بطريقة تسمح بالإبقاء على كائنات حية بداخله. وتستخدم عدة أنواع منها فى دراسة الانتقال الحشرى للفيروسات، نذكر منها ما يلى:

(١) الحجيرات الخشبية Wooden Plant Cages:

تكون أبعاد الحجيرة حوالى ٣٥×٣٥×٥٠ سم. وتغطى جوانبها إما بشبكة سلكية دقيقة. وإما بالقماش الحرير، مع استعمال غطاء زجاجى لكل من قمة الحجيرة، وجانبها الذى يتم تداول النباتات والحشرات من خلاله. وبالنسبة للذبابة البيضاء .. تستخدم حجيرات ذات جانبين خشبيين بكل منهما فتحة دائرية بقطر ١٨ سم تسمح بدخول اليد من خلالها. وتُمنع الذبابة البيضاء من الهروب من الحجيرة أثناء العمل فيها بتغطية كل من الفتحتين بأنبوبة قماشية سوداء تغلق من طرفها البعيد برباط مطاطى (شكل ٨-٥ أ).



شكل (٨-٥): أشكال الحجيرات Cages المستخدمة فى اختبارات الانتقال الحشرى للفيروسات: (أ) حجيرات خشبية، و (ب) حجيرات بلاستيكية اسطوانية، و (جـ) حجيرات الأوراق.

(٢) الحجيرات البلاستيكية الأسطوانية Plastic Cylinder Whole Plant Cages:

تغطى بالشاش قمة أسطوانة بلاستيكية شفافة بقطر ٣٢ سم، مع تثبيت قاعدتها فى إصيص ينمو فيه النبات المستخدم فى الدراسة. ويمكن أن توضع داخل الأسطوانة أوراق طازجة تغمر قواعد أعناقها فى أنابيب بها ماء (شكل ٨-٥ ب).

(٣) حجيرات الأوراق الأسطوانية البلاستيكية Plastic Cylinder Leaf Cages:

يستخدم هذا النوع من الحجيرات لاختبارات الانتقال الحشرى التى يستعمل فيها عدد محدود من الحشرات. يصنع الـ cage من جزأين من أنابيب بلاستيكية يبلغ قطرها حوالى ٣ سم، وطولها ١٠٥ سم. وتغطى الأنبوبة من أحد جانبيها بقماش من النيلون. وتنقل الحشرات إلى داخلها من خلال فتحة صغيرة تعمل فى جانب الأنبوبة وتُغْلَق بسدادة فلينية. يثبت جانبى الحجيرة (الأنبوبتان) حول الأوراق باستعمال مشبك شعر عادى، مع تثبيت نهايتى المشبك الحرتين فى جزأى الأنبوبة بتسخينهما. ثم دفعهما فى الجدار البلاستيكى (شكل ٨-٥ جـ).

(٤) أوعية بلاستيكية أو زجاجية Plastic or Glass Containers:

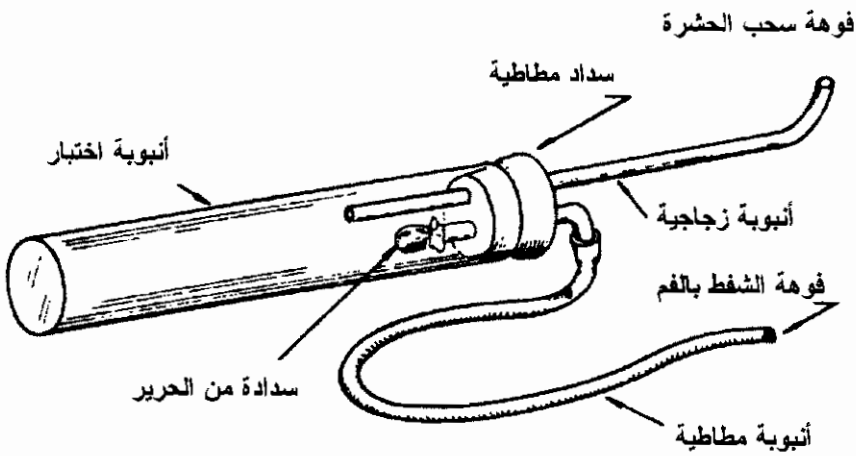
تستخدم هذه الأوعية لنقل الحشرات التى تجمع من الحقل، ويشترط فيها أن يكون غطاؤها شبكيًّا، وأن تكون واسعة بالقدر الذى يسمح بالتهوية.

ب - فرشاة رسم .. وتستخدم خاصة لتداول المن. ويلزم بلّ طرفها لكى تلتصق بها الحشرة.

جـ - جهاز شفط Aspirator:

يستخدم جهاز الشفط مع الحشرات النشطة الحركة، مثل نطاطات الأوراق، والذباب الأبيض. وهو يتكون من أنبوبة اختبار صغيرة مغلقة بسدادة مطاطية ذات فتحتين وتمر من إحداهما أنبوبة زجاجية صغيرة مستقيمة يتصل طرفها الخارجى بأنبوبة مطاطية تستعمل للشفط، بينما يغطى طرفها الداخلى بسدادة من الحرير أو النيلون تسمح بسحب الهواء بحرية، ولكنها تمنع مرور الحشرات. أما الفتحة الأخرى للسدادة المطاطية فيمر من خلالها أنبوبة زجاجية أطول قليلاً، طرفها الخارجى ملتو قليلا ليسمح بالتقاط الحشرات - عند الشفط - بكفاءة أكبر (شكل ٨-٦).

د - تستخدم شعرات مفردة - تربط فى أعواد خشبية صغيرة (مثل المستخدمة فى تنظيف الأسنان) - فى التقاط الحشرات الصغيرة كالمن والتربس.



شكل (٨-٦): جهاز سحب الحشرات بالشفط أو بالتفريغ **Aspirator**.

٢ - جمع الحشرات من الحقل:

يمكن جمع الحشرات من الحقل بعدة طرق كما يلى:

أ - باستخدام شبكة لجمع الحشرات تمرر فوق النموات الخضرية.

ب - بالطرق على النباتات وجمع الحشرات التى تسقط منها على مفرش يوضع أسفل النباتات.

جـ - جمع حشرات مفردة باستخدام فرشاة رسم.

د - جمع عينات توجد بها الحشرات.

هـ - اصطياد الحشرات .. وتوجد أنواع مختلفة من المصائد كما يلى:

(١) المصائد اللونية .. فيمكن صيد المن والذباب الأبيض فى وعاء أصفر اللون مملوء بالماء.

(٢) المصائد الضوئية .. حيث تنجذب معظم الحشرات للأشعة الزرقاء وفوق البنفسجية.

(٣) مصائد الشفط .. حيث تشفط الحشرات بتيارٍ من الهواء.

(٤) المصائد اللاصقة .. حيث تجذب الحشرات إلى أسطح ملونة مغطاة بمادة لاصقة.

٣ – المحافظة على الحشرات وإدامتها:

إن الظروف التى تناسب نمو عائل الحشرة تكون – غالبًا – مناسبة لنمو وتكاثر الحشرة ذاتها. ولذا .. تستخدم عوائل الحشرة لهذا الغرض. وقد تستخدم أوراق النباتات فى تغذية الحشرات.

٤ – المحافظة على مزارع حشرات خالية من الفيروسات:

يلزم أولاً معرفة ما إذا كانت الحشرات المجموعة من الحقل حاملة للفيرس، أم غير حاملة له، ويتم ذلك بوضعها على عوائل دالة (قابلة للإصابة بالفيرس). وبعد التأكد من خلو الحشرات من الفيرس فإنها تربى على عوائل غير قابلة للإصابة بهذا الفيرس. أما إذا وجد أن الحشرات المجموعة من الحقل حاملة للفيرس .. فإنه يلزم الانتظار حتى تضع هذه الحشرات بيضها على عوائل غير قابلة للإصابة بالفيرس، علمًا بأن ذلك لا يفيد فى حالات الفيروسات التى تنتقل خلال بيض الحشرات إلى نسلها، حيث يلزم – فى هذه الحالة – الحصول على حشرات خالية من الفيرس من البداية، أو تربيتها لأجيال قليلة على عوائل لا تصاب بالفيرس.

٥ – عدوى (حقن) النباتات بالفيرس بواسطة الحشرات:

تنقل أولا حشرات خالية من الفيرس للتغذية على نبات مصاب به، وتترك عليه لحين اكتسابها الفيرس، وهى العملية التى تعرف باسم تغذية الاكتساب Acquisition Feeding وتتراوح الفترة اللازمة لذلك – حسب الفيرس – من ثوان قليلة إلى ساعات قليلة. ويلى ذلك مباشرة نقل الحشرات التى اكتسبت الفيرس للتغذية على النبات السليم الذى يراد نقل الفيرس إليه، وهى العملية التى تعرف باسم تغذية الانتقال Transmission Feeding، وتغذية الحقن Inoculation Feeding. وبينما نجد أن بعض الحشرات يمكنها نقل الفيرس إلى النبات السليم فى الحال (أى بعد اكتسابها الفيرس مباشرة)، نجد أن بعضها الآخر لا يمكنها نقل الفيرس إلا بعد فترة كمون Latent Period، تتراوح من ساعات قليلة إلى عدة أسابيع. ويمكن تحديد هذه الفترة بنقل

الحشرات الحاملة للفيرس للتغذية على النباتات السليمة على فترات منتظمة بعد اكتسابها للفيرس.

وبينما لا يمكن لبعض الحشرات – كالمن الذى يحمل الفيرس على القليم Stylet – أن تحتفظ بقدرتها على نقل الفيرس لأكثر من نصف ساعة .. فإن حشرات أخرى – كمعظم نطاطات الأوراق وبعض أنواع المن التى تحمل الفيرس فى جهازها الهضمى – تحتفظ بقدرتها على نقل الفيرس طوال حياتها.

كذلك يمكن لأنواع المن التى تحمل الفيرس فى جهازها الدورى haemolymph أن تنقل الفيرس طوال حياتها بعد انسلاخها.

وبعد فترة التغذية اللازمة لنقل الفيرس .. يتم – عادة – التخلص من الحشرات بالرش بالمبيدات، أو بالتبخير، ثم تلاحظ النباتات المحقونة – لمدة ١–٣ أشهر – لحين ظهور الأعراض عليها.

٦ – نباتات وحشرات المقارنة:

للتأكد من أن مجرد تغذية الحشرات على النباتات لا تُحدث أعراضًا شبيهة بأعراض الإصابة الفيروسية .. يتم نقل حشرات خالية من الفيرس للتغذية على نباتات سليمة، ثم تلاحظ الأضرار التى تحدثها التغذية. ويجب التأكد من أن الحشرات التى تنقل من الحقل تكون خالية من الفيرس. كذلك يجب الاحتفاظ بنباتات غير معدية بالفيرس فى نفس الصوبة لملاحظة الانتشار غير المتحكم فيه للفيرس، وللتأكد من أن النباتات المختبرة لم تكن حاملة للفيرس قبل عدواها به.

ثانيًا: الانتقال بواسطة المن Aphid Transmission

يعرف أكثر من ١٩٠ نوعًا من المن بقدرتها على نقل حوالى ٢٩٠ نوعًا من الفيروسات إلى النباتات، ومن أهم هذه الأنواع ما يلى:

***Aphis* sp.**	***Macrosiphum* sp.**	***Rophalosiphum* sp.**
***Brevicoryne* sp.**	***Myzus* sp.**	***Toxoptera* sp.**

وتعد الأنواع المختلفة من المن مسئولة عن نقل حوالى ٦٦٪ من الفيروسات التى تنقلها مفصليات الأرجل، ويحدث معظمها أعراض الموزايك، إلا أن بعضها يحدث أعراض الاصفرار أيضًا.

وجدير بالذكر أن الفيروسات التى ينقلها المن نادرًا ما تنتقل خلال بيض الحشرة (transovarially)، ولذا .. فإن حشرات المن الحديثة الفقس تكون – دائمًا تقريبًا خالية من الفيرس.

وتقسم الفيروسات التى ينقلها المن إلى ثلاث مجاميع: غير مثابرة (غير متبقية) non-persistent (أى لا تمر فى الدروة الدموية للحشرة non- circulative)، وشبه مثابرة semipersistent، ومثابرة (متبقية) persistent (أو circulative).

وبينما تقع معظم الفيروسات التى ينقلها المن فى المجموعة الأولى، نجد أن بعضها لا يدخل ضمن أى من هذه المجاميع، حيث تكتسب الفيرس بعد فترتى اكتساب؛ أولاهما قصيرة، والأخرى طويلة، ولا تكون قادرة على نقل الفيرس بينهما، ويعرف ذلك باسم ثنائية خاصية الانتقال bimodal- transmission.

١ – الفيروسات غير المثابرة (أو غير المتبقية) Non-Persistent Viruses:

تعرف هذه المجموعة من الفيروسات أيضا باسم المحمولة على القليم Stylet- borne، وفيها تكتسب الحشرة الفيرس أثناء تغذيتها بمجرد ملامسة أجزاء فمها لخلايا نباتية مصابة. يحمل الفيرس على قليم الحشرة، ولا يصل إلى جهازها الهضمى، وتحتفظ به الحشرة لمدة تقل عن ساعة.

يكون اكتساب الحشرة للفيرس خلال فترة تتراوح من ثوانٍ قليلة إلى دقائق معدودة. وخلال ذلك الوقت لا يخترق قليم المن لأبعد من طبقة البشرة، وحينما يصل الاختراق لأنسجة أعمق مثل الميزوفيل أو النسيج الوعائى فإن قدرة الحشرة على نقل الفيرس تنخفض بشدة. ويؤدى سلوك تغذية الحشرة والمتمثل فى اختراقها لعديد من خلايا البشرة لفترات قصيرة – والذى يعتقد أنه يكون بهدف أخذ عينات من العصير الخلوى

للتعرف على أفضلها — يؤدى ذلك إلى زيادة معدل انتشار الفيروسات. كذلك تؤدى إطالة فترة الاكتساب إلى أيام قليلة إلى إضعاف فاعلية الحشرة فى نقل الفيرس إلى النباتات السليمة بعد ذلك. ويمكن زيادة فترة تغذية الحشرة بتجويعها قبل السماح لها بالتغذية على النبات المصاب بالفيرس. ولا توجد فى هذه المجموعة الفيروسية فترة كمون؛ حيث يمكن للحشرة نقل الفيرس إلى النبات السليم بمجرد تغذيتها عليه. هذا .. وتبدأ أفراد المن فى فقد قدرتها على نقل الفيرس الذى اكتسبته بعد انتهاء فترة الاكتساب مباشرة، ويعتمد معدل فقد تلك القدرة على عديد من العوامل، منها درجة الحرارة، ولكنها تفقد القدرة على نقل الفيرس كلية فى خلال دقائق معدودة (عن Hull ٢٠٠٢).

وتتميز الفيروسات غير المثابرة بأنها تنقل كذلك بواسطة العصير الخلوى، وبأن لها مدى واسعا من العوائل.

ومن أمثلة الفيروسات غير المثابرة التى تنقل بواسطة المن ما يلى:

فيرس موزايك الفاصوليا العادى	Bean common mosaic virus
فيرس موزايك الفاصوليا الأصفر	Bean yellow mosaic virus
فيرس موزايك اللوبيا الذى ينتقل بالمن	Cowpea aphid- borne mosaic virus
فيرس موزايك الخيار	Cucumber mosaic virus
فيرس موزايك الخس	Lettuce mosaic virus
فيرس تقزم البصل الأصفر	Onion yellow dwarf virus
فيرس تبقع الباباظ الحلقى	Papaya ringspot virus
فيرس تبرقش الفول السودانى	Peanut mottle virus
فيرس تبرقش الفلفل	Pepper mottle virus
فيرس Y البطاطس	Potato virus Y
فيرس موزايك فول الصويا	Soybean mosaic virus
فيرس موزايك القصب	Sugarcane mosaic virus
فيرس موزايك اللفت	Turnip mosaic virus
فيرس موزايك البطيخ	Watermelon mosaic virus

٢ – الفيروسات شبه المثابرة (أو شبه المتبقية) Semipersistent Viruses:

تصل هذه الفيروسات إلى القناة الهضمية للحشرة، وتكون فترة تغذيتها التى تلزم لاكتساب الفيرس خلالها أطول قليلاً مما فى مجموعة الفيروسات غير المثابرة، حيث تتراوح من عدة دقائق إلى ساعة واحدة أو ساعتين، غير أن قدرة الحشرة على نقل الفيرس تتحسن بزيادة فترة تغذية الإكتساب.

وكما فى الفيروسات غير المثابرة .. فإن هذه الفيروسات لا تمر – هى الأخرى – بفترة كمون فى الحشرات الناقلة لها، حيث يمكنها نقل الفيرس للنباتات السليمة بمجرد اكتسابها له. وعلى خلاف الفيروسات غير المثابرة .. فإن الفترة التى تلزم الحشرة لنقل الفيرس Inoculation Feeding فى هذه المجموعة تكون أطول؛ حيث تتراوح من عدة دقائق إلى عدة ساعات، كما أن الحشرات تحتفظ بالفيرس لفترة أطول؛ حيث تتراوح من ١٢–٢٤ ساعة، وتصل – أحيانا – إلى عدة أيام. ولا تنتقل هذه الفيروسات عن طريق العصير الخلوى (ميكانيكا) إلا بصعوبة بالغة.

إن أهم الفيروسات شبه المتبقية تنتمى لكل من الـ caulimoviruses، والـ closteroviruses. وبينما يمكن أن تتواجد الـ caulimoviruses فى معظم أنواع الخلايا بالنباتات المصابة، ويتضمن انتقالها مكون مساعد helper component دُرِسَ باستفاضة، فإن الـ closteroviruses تتواجد أساسًا فى اللحاء (عن Hull ٢٠٠٢).

ومن أمثلة الفيروسات شبه المثابرة ما يلى:

فيرس اصفرار البنجر	Beet Yellows Virus
فيرس ترستيزا الحمضيات	Citrus Tristeza Virus
فيرس اصفرار البرسيم	Clover Yellows Virus

٣ – الفيروسات المثابرة (الدائمة) Persistent Viruses:

تعرف هذه المجموعة من الفيروسات أيضا باسم Circulative Viruses؛ نظرا لأنها تصل إلى الجهاز الدورى، كما توجد فى الجهاز الهضمى للحشرة، وفى غددها اللعابية.

تتراوح فترة تغذية الاكتساب فى هذه المجموعة من ٣٠ دقيقة إلى عدة ساعات، وتلزم لها فترة كمون قبل أن تصبح الحشرة – التى اكتسبت الفيرس – قادرة على نقله إلى نبات سليم.

وتتوقف كفاءة الحشرة على نقل الفيرس على أعداد الفيرس جزيئات التى اكتسبتها أثناء تغذيتها على النبات المصاب، ولكنها – أى الحشرة الحاملة للفيرس – لا يمكنها نقل الفيرس إلى النبات السليم إلا بعد ساعات قليلة من التغذية عليه. وليس لتصويم الحشرات عن الغذاء – فى هذه المجموعة – أى تأثير فى نقلها للفيرس.

هذا .. وتحتفظ الحشرات الناقلة للفيروسات المثابرة بالفيرس فى أجسامها طوال حياتها بما فى ذلك مراحل انسلاخها. ويمكن لهذه الفيروسات – غالبًا – التكاثر فى الحشرات الناقلة لها، ولكن توجد شواذ لهذه القاعدة؛ مثل فيرس تقزم الشعير الأصفر Barley Yellow Dwarf Virus.

تتميز الفيروسات المثابرة بمحدودية عوائلها، وقد تكون متخصصة للغاية على عائل أو عوائل قليلة جدًّا. وتتميز كذلك بأنها لا تنتقل عن طريق العصير الخلوى (ميكانيكيًّا)، ولكن توجد شواذ لهذه القاعدة مثل فيرس Pea Enation Mosaic.

تتشابه معظم الفيروسات المتبقية فى إعطائها لأعراض الاصفرار والتفاف الأوراق. وسواء أتكاثر الفيرس فى ناقلة (أى كان propagative)، أم لم يتكاثر (أى كان circulative)، فإنه يتعين عليه النفاذ من خلال عائقين على الأقل، هما: جدار معى الحشرة – حيث يمر فى الجهاز الدورى – ثم جدار غددها اللعابية.

ومن أمثلة الفيروسات المثابرة (المتبقية) ما يلى:

فيرس اصفرار وتقزم الشعير	Barley Yellow Dwarf Virus
فيرس تبرقش الجزر	Carrot Mottle Virus
فيرس اصفرار الخس المتحلل	Lettuce Necrotic Yellows Virus
فيرس موزايك الذرة	Maize Mosaic Virus
فيرس موزايك وإينشن البسلة	Pea Enation Mosaic Virus

فيرس التفاف أوراق البطاطس	Potato Leafroll Virus
فيرس اصفرار وتقزم البطاطس	Potato Yellow Dwarf Virus

٤ – الفيروسات الثنائية الانتقال Bimodally Transmitted Viruses:

يمكن لبعض الفيروسات أن تكون متبقية أو شبه متبقية لدى انتقالها بنفس النوع من المن، وهى التى يطلق عليها اسم الفيروسات ثنائية خاصية الانتقال الحشرى bimodal transmission، ولكن بعض الباحثين يرى أن ذلك مردة إلى عوامل أخرى ليست من خصائص الفيرس ذاته، كأن تحدث تفاعلات بين الفيرس والحشرة.

ومن أمثلة هذه الفيروسات، ما يلى:

فيرس ذبول الفول الرومى	Broadbean Wilt Virus
فيرس موزايك القنبيط	Cauliflower Mosaic Virus
فيرس موزايك الداليا	Dahlia Mosaic Virus
فيرس موزايك الفول السودانى	Groundnut Mosaic Virus
فيرس موزايك البسلة الذى ينتقل بالبذور	Pea Seedborne Mosaic Virus
فيرس تخطيط البسلة	Pea Streak Virus
فيرس A البطاطا	Sweepotato Virus A

ويبين جدول (٨–٧) خصائص الانتقال الحشرى (بالمن وغيره من الحشرات) لكل من الفيروسات المتبقية وغير المتبقية.

ثالثا: الانتقال بواسطة الذبابة البيضاء Whitefly Transmission

إن من أهم أعراض الإصابة بالفيروسات التى تنقلها الذبابة البيضاء: الاصفرار، وتجعد الأوراق، وبعض الموزايك، وتوجد هذه الفيروسات – غالبا – فى المناطق الاستوائية وتحت الاستوائية.

تتميز هذه الفيروسات بأنها مثابرة غالبًا، إلا أن لهذه القاعدة شواذ، مثل فيرس اصفرار عروق الخيار Cucumber Vein Yellowing Virus. وتصل الفيروسات التى

جدول (٨-٧): العلاقات بين الفيروسات وناقلها وخصائص عملية النقل الفيروسى (عن Hull ٢٠٠٢).

الموقع بالناقل	نوعية الانتقال	فترة الاكتساب (الأقصى قدر)	فترة البقاء	الانتقال للجيل التالى للناقل	تواجد الفيرس بالجهاز الليمفاوى للناقل	فترة الكمون	تكاثر الفيرس فى الناقل	الانتقال من خلال البويضات
خارجيًا	غير متبقية/ يحمل على القليم	ثوان إلى دقائق	دقائق	لا يحدث	لا يتواجد	لا توجد	لا يتكاثر	لا يحدث
	شبه متبقية/ يحمل فى المعى الأول	دقائق إلى ساعات	ساعات	لا يحدث	لا يتواجد	لا توجد	لا يتكاثر	لا يحدث
داخليًا	متبقية/يتحرك فى الجهاز الدورى	ساعات إلى أيام	أيام إلى أسابيع	يحدث	يتواجد	ساعات إلى أيام	لا يتكاثر	لا يحدث
	متبقية/ يتكاثر بالناقل	ساعات إلى أيام	أسابيع إلى شهور	يحدث	يتواجد	أسابيع	يتكاثر	يحدث غالبًا

تنقلها الذبابة البيضاء إلى الدورة الدموية للحشرة. وتتراوح فترة تغذية الاكتساب اللازمة فى معظم هذه الفيروسات من ٢٤-٤٨ ساعة. ويمر الفيرس بفترة كمون فى جسم الحشرة تتراوح من ٤-٢٠ ساعة. وبعدها تصبح الحشرة قادرة على نقل الفيرس، وتحتفظ بتلك الخاصية لفترة تتراوح من أيام قليلة إلى ٣٥ يومًا.

هذا .. ويمكن ليرقات الذبابة البيضاء اكتساب الفيرس، ويظل الفيرس فى جسم الحشرة خلال جميع مراحل تطورها إلى أن تصبح حشرة كاملة، حيث تكون قادرة على نقل الفيرس إلى النباتات السليمة بمجرد بدء نشاطها فى التغذية. ولكن لا توجد أدلة على انتقال الفيرس إلى نسل الحشرات الحاملة له من خلال بيضها.

تتغذى حشرة الذبابة البيضاء على نسيج اللحاء، وتفضل التغذية على الأنسجة الحديثة، وعلى السطح السفلى للأوراق. وتحمل بواسطة الرياح، ولذا .. فإنها يمكن أن تساعد على نشر الفيرس لمسافات بعيدة.

وبصورة عامة .. فإن الفيروسات التى تنقلها الذبابة البيضاء لا تنتقل ميكانيكيا، ولكن لهذه القاعدة شواذ؛ مثل فيرس موزايك الفاصوليا الذهبى Bean Golden Mosaic Virus، وفيرس موزايك الطماطم الأصفر الذهبى Tomato Golden Yellow Mosaic Virus.

ومن أمثلة الفيروسات التى تنقلها الذبابة البيضاء (أنواع مختلفة من الذباب الأبيض) ما يأتى:

فيرس تغضن الفاصوليا	Bean Crumpling Virus
فيرس موزايك الفاصوليا الذهبى	Bean Golden Mosaic Virus
فيرس موزايك اليقطين	Bottle Gourd Mosaic Virus
فيرس موزايك الكاسافا	Cassava Mosaic Virus
فيرس تجعد أوراق الفلفل الحار	Chili Leafcurl Virus
فيرس تجعد أوراق القطن	Cotton Leafcurl Virus
فيرس اصفرار عروق الخيار	Cucmber Vein Yellowing Virus

فيرس موزايك فاصوليا المنج الأصفر	Mungbean Yellow Mosaic Virus
فيرس بى البطاطا	Sweetpotato Virus B
فيرس تبرقش البطاطا المعتدل	Sweetpotato Mild Mottle Virus
فيرس تقزم البطاطا	Sweetpotato Stunt Virus
فيرس شفافية عروق البطاطا	Sweetpotato Vein Clearing Virus
فيرس تجعد أوراق التبغ	Tobacco Leafcurl Virus
فيرس موزايك الطماطم الذهبى	Tomato Golden Mosaic Virus
فيرس تجعد واصفرار أوراق الطماطم	Tomato Yellow Leafcurl Virus
فيرس موزايك الطماطم الأصفر	Tomato Yellow Mosaic Virus
فيرس تقزم الطماطم الأصفر	Tomato Yellow Dwavf Virus

رابعًا: الانتقال بواسطة نطاطات الأوراق Leafhoppers ونطاطات النباتات Planthoppers

يُعرف حوالى ١٥٠٠٠ نوع من نطاطات الأوراق تتوزع على ٢٠٠٠ جنس، لكن لم تثبت القدرة على نقل الفيروسات النباتية سوى فى ٤٩ نوع فقط منها، تتوزع على ٢١ جنسًا.

أما نطاطات النباتات فلا ينقل الفيروسات النباتية منها سوى أنواع من العائلة Delphacidae، وهى لا تتغذى إلاّ على وحيدات الفلقة، وخاصة أنواع العائلة Poaceae، حيث تنقل فيروسات خطيرة لكل من الأرز، والقمح، والذرة.

ومن أهم أنواع النطاطات بنوعيها التى تنقل فيروساتها إلى النباتات، ما يلى:

Agallia sp.	*Empoasca* sp.
Austroagallia sp.	*Eutettix* sp.
Cicadulina sp.	*Javesella* sp.
Cicadulifer sp.	*Macrosteles* sp.
Dalbulus sp.	*Nephotettix* sp.

وتتخصص النطاطات فى نقل الفيروسات التى تتواجد فى نسيج اللحاء، وهو النسيج الذى تحصل منه على غذائها. وتعد هذه المجموعة من الفيروسات المثابرة (الدائمة)، وتتراوح فترة تغذية الاكتساب للنطاطات الناقلة لها من ٣٠ دقيقة إلى عدة ساعات. ولا يمكن للحشرات التى اكتسبت الفيرس أن تنقله للنباتات السليمة إلا بعد مرور فترة كمون، ثم التغذية على النبات السليم لعدة ساعات.

تصل فيروسات هذه المجموعة للجهازين الهضمى والدورى للنطاطات، وتبقى فيها طوال حياتها. وتتكاثر هذه الفيروسات فى جسم الحشرة، ولكن توجد استثناءات لهذه القاعدة، كما فى فيرس تجعد قمة البنجر Beet Curly Top Virus. وتنتقل بعض هذه الفيروسات عن طريق بيض الحشرة.

وتتميز فيروسات هذه المجموعة بأنها متخصصة إلى حد كبير فيما يتعلق بنوع النطاطات الذى ينقلها، وأن لكل فيرس منها مدى محدودًا من العوائل. وتحدث هذه الفيروسات غالبا أعراض الاصفرار، أو أعراض مكنسة الساحر witche's broom فى النباتات التى تصيبها، وهى لا تنتقل بواسطة العصير الخلوى باستثناء فيرس تقزم البطاطس الأصفر Potato Yellow Dwarf Virus.

ومن الفيروسات التى تنقلها نطاطات الأوراق ما يلى:

فيرس تجعد أوراق البنجر	Beet Curly Top Virus
فيرس تخطيط الذرة	Maize Streak Virus
فيرس تقزم البطاطس الأصفر	Potato Yellow Dwarf Virus
فيرس تقزم الأرز	Rice Dwarf Virus
فيرس تورد فول الصويا	Soybean Rosette Virus

ومن الفيروسات التى تنقلها نطاطات النباتات ما يلى:

فيرس موزايك الذرة	Maize Mosaic Virus
فيرس تقزم الذرة الخشن	Maize Rough Dwarf Virus

خامسًا: الانتقال بواسطة الخنافس Beetle Transmission

من أهم أنواع الخنافس الناقلة للفيروسات ما يلى:

الخنافس البرغوثية	*Phyllotreta* spp.
خنافس المسترد	*Phaedon* spp.
خنافس الخيار	*Acalymma* sp.، و *Diabrotica* sp.

تبلغ فترة تغذية الاكتساب فى هذه المجموعة من الفيروسات نحو خمس دقائق فقط، تحتفظ بعدها الحشرة بقدرتها على نقل الفيرس لمدة يوم واحد على الأقل، ولكن الفترة تزيد غالبا على ذلك. يحمل الفيرس عادة فى الجهاز الدورى للحشرة.

تتميز هذه المجموعة من الفيروسات بثباتها، وبإمكان انتقالها ميكانيكيا بسهولة، كما يمكن إحداث الإصابة بواسطة السوائل التى يُحصل عليها بعد سحق الحشرات الحاملة للفيرس.

ومن أمثلة هذه الفيروسات ما يلى:

فيرس تبرقش قرون الفاصوليا	Bean Pod Mottle Virus
فيرس تبرقش الفول الرومى	Broad Bean Mottle Virus
فيرس صبغ الفول الرومى	Broad Bean Stain Virus
فيرس موزايك اللوبيا	Cowpea Mosaic Virus
فيرس موزايك الباذنجان	Eggplant Mosaic Virus
فيرس موزايك البامية	Okra Mosaic Virus
فيرس موزايك الفجل	Radish Mosaic Virus
فيرس تبرقش الأرز الأصفر	Rice Yellow Mottle Virus
فيرس موزايك الفاصوليا الجنوبى	Southern Bean Mosaic Virus
فيرس موزايك الكوسة	Squash Mosaic Virus
فيرس موزايك اللفت الأصفر	Turnip Yellow Mosaic

سادسًا: الانتقال بواسطة الحنفاء المغبرّة

إن من أهم الخنافس المغبرة Mealy-bugs التى تنقل الفيروسات ما يلى:

Planococcus sp.

Pseudococcus sp.

Dysmicoccus sp.

تُخْدَم الخنافس المغبرة بواسطة النمل؛ فإذا ما كوفح النمل .. فإن الخنافس تكافح تلقائيا. وتتغذى هذه الخنافس بامتصاص العصارة النباتية من نسيج اللحاء مباشرة.

تعتبر الفيروسات التى تنقلها هذه الخنافس شبه مثابرة، وقد تحمل على قليم الحشرة. وتزيد قدرة الحشرة على نقل الفيرس بزيادة فترة تغذية الاكتساب إلى ٢٤ ساعة، ولكن الحد الأدنى لفترة تغذية العدوى (الحقن) Inoculation Feeding هو ١٥ دقيقة. هذا .. وليس لتصويم الحشرة عن الغذاء أى تأثير على كفاءتها فى اكتساب الفيرس أو نقله، كما لا توجد فترة كمون. ويمكن للفيروسات التى تنقلها هذه الخنافس أن تنتقل ميكانيكيا كذلك.

ومن أهم الأمثلة على الفيروسات التى تنقلها الخنافس المغبرة ما يلى:

فيرس الأناناس الكامن Pineapple Latent Virus

فيرس تورم نموات الكاكاو Cacao Swollen Shoot Virus، وهو لا ينتقل إلا بواسطة إناث الحشرة.

سابعًا: الانتقال بواسطة حشرة الـ Psyllid

إن أهم الـ Psyllids التى تنقل الفيروسات النباتية تنتمى إلى الأجناس التالية:

Trioza sp.

Diaphorina sp.

Psylla sp.

يحمل الفيرس فى الجهاز الدورى للحشرة.

ومن الفيروسات التى تنتقل بها ما يلى:

فيرس تبرقش ورقة البسلة الأحمر	Pea Red Leaf Mottle Virus
فيرس تجعد أوراق الكمثرى	Pear Leafcurl Virus

ثامنًا: الفيروسات التى ينقلها التربس Thrips Transmission

يُعرف حوالى ٥٠٠٠ نوع من التربس، منها ١٠ أنواع فقط تعد قادرة على نقل الفيروسات النباتية، وجميعها تنتمى إلى العائلة Thripidae (عن Hull ٢٠٠٢).

وتنتمى أهم أنواع التربس التى تنقل الفيروسات إلى الجنسين الآتيين:

Thrips sp.

Frankliniella sp.

ينقل التربس فيرس ذبول الطماطم المتبقع Tomato Spotted Wilt Virus حيث لا يُكتسب الفيرس إلا بواسطة اليرقة، ولا ينتقل للنباتات السليمة إلاّ بواسطة الحشرة الكاملة، وهو من الفيروسات المثابرة persistent غير الثابتة unstable، وينتقل أيضًا ميكانيكيا. وللفيرس مدى واسع من العوائل يشمل مالا يقل عن ١٦٦ نوعًا نباتيًّا موزعة على ٣٦ عائلة من ذوات الفلقة الواحدة وذوات الفلقتين (عن Green ١٩٨٤، وعن Hull ٢٠٠٢).

تاسعًا: الانتقال بواسطة النحل

يُساعد النحل الطنّان bumble bees (*Bombus terrestris*) فى نقل فيرس موزايك التبغ من نبات طماطم لآخر داخل الصوبة الواحدة. وذلك عن طريق حبوب اللقاح التى يقوم بنقلها (Okada وآخرون ٢٠٠٠).

كذلك قام نحل العسل بنقل فيرس تبرقش أوراق البلوبرى blueberry leaf mottle virus عن طريق حبوب اللقاح المصابة فى البلوبرى (Childress & Ramsdell ١٩٨٧).

الانتقال بواسطة الأكاروسات Mite Transmission

إن أهم الأكاروسات التى تنقل الفيروسات النباتية تنتمى إلى الأجناس الآتية:

Aceria sp. *Brevipalpus* sp.

Eryophyes sp.

يُحمل الفيرس فى القناة الهضمية للأكاروس، ويبقى معه بعد الانسلاخ، ولكنه لا ينتقل إلى النسل من خلال البيض.

تزيد كفاءة الأكاروس فى نقل الفيرس بزيادة فترة تغذية الاكتساب.

ومن أهم الفيروسات التى ينقلها الأكاروس ما يلى:

فيرس تبقع البن الحلقى	Cofee Ringspot Virus
فيرس موزايك التين	Fig Mosaic Virus
فيرس موزايك الخوخ	Peach Mosaic Virus
فيرس موزايك وتخطيط القمح	Wheat Streak Mosaic Virus

(عن Green ١٩٨٤).

الانتقال بواسطة الفطريات

تتخصص بعض الفطريات فى نقل فيروسات معينة إلى النباتات كما يظهر فى جدول (٨-٨). وللتفاصيل المتعلقة بهذا الموضوع .. يراجع Campbell (١٩٩٦).

الانتقال بواسطة النيماتودا

تنتمى النيماتودا Nematodes القادرة على نقل الفيروسات النباتية إلى ثلاثة أجناس، هى: *Xiphinema*، و *Longidorus* (اللذان يوجد بهما نواقل للفيروسات الـ polyhedral من مجموعة الـ Nepovirus)، والجنس *Trichodorus* (الذى يوجد به نواقل للفيروسات العصوية من مجموعة الـ tobarovirus).

هذا .. ويوجد قدر كبير من التخصص من العلاقة بين الفيرس والنيماتودا، تتضمن غالبًا تعلق جزيئات الفيرس بمناطق خاصة من النسيج المبطن لمعى النيماتودا (عن Hull ٢٠٠٢).

جدول (٨-٨): الفيروسات وأشباه الفيروسات (virus-like agents) التي تنتقل إلى النباتات عن طريق الفطريات والأنواع الفطرية الناقلة لها (عن Campbell ١٩٩٦).

الفطر الناقل					الاسم المختصر للفيرس	الفيرس أو الجنس الفيروسي
Sss	Pbe	Pgr	Obo	Obr		
						Tombusvirus
			+		CNV	Cucumber necrosis
						Carmoviruses
			+		MNSV	Melon necrotic spot
			+		CLSV	Cucumber leaf spot
			+		CSBV	Cucumber soil-borne
			+		SqNV	Squash necrosis
						Necroviruses
				+	TNV	Tobacco necrosis
				+	ChNV	Chenopodium necrosis
				+	LNV	Lisianthus necrosis
						Dianthovirus
			+		RCNMV	Red clover necr. Mosaic
						Satellite virus
				+	STNV	Tobacco necrosis
						Furoviruses
		+			SBWMV	Soilborne wheat mosaic
		+			OGSV	Oat golden stripe
		+			PCV	Peanut clump
		+			IPCV	Indian peanut clump
		+			RSNV	Rice stripe necrosis
	+				BNYVV	Beet necrotic yellow vein
	+				BSBV	Beet soil-borne
+					PMTV	Potato mop-top
						Bymoviruses
		+u			BaMMV	Barley mild mosaic
		+			BaYmv	Barley yellow mosaic
		+			OMV	Oat mosaic
		+			RNMV	Rice necrosis mosaic
		+			WSSMV	Wheat spindle streak
					Others	
				+	LBVV	Lettuce big vein
				+	TSV	Tobacco stunt
				+	FLNA	Freesia leaf necrosis agent
				+	LRNA	Lettuce ring necrosis agent
				+	PYVA	Pepper yellow vein agent

Obr= *Olpidium brassicae*: Obo = *O. bornovanus*: Pgr = *Polymvxa graminis*: Pbe = *P. betae*: Sss = *Spongospora subterranea* f. sp. *Subterranea*.

تنتقل الفيروسات التى تنقلها النيماتودا ميكانيكيا كذلك ، وهى متخصصة على عوائل معينة. ويُفقد الفيرس أثناء انسلاخ النيماتودا. وتحتفظ النيماتودا بالفيرس لمدة تتراوح من أسبوعين كما فى *Trichodorus* sp.، و *Longidorus* sp. إلى ثمانية أشهر كما فى *Xiphinema* sp.

تزيد كفاءة النيماتودا فى نقل الفيرس بزيادة فترة تغذية الاكتساب إلى ٤٨ ساعة.

ومن أهم الفيروسات التى تنقلها النيماتودا ما يلى (وكذلك جدول ٨-٩).

١ – ينقل الجنس *Trichodous* sp. ما يلى:

فيرس تلون البسلة البنى المبكر Pea Early Browning Virus.

فيرس خشخشة التبغ Tobacco Rattle Virus.

٢ – ينقل الجنس *Longidorus* sp. ما يلى:

فيرس حلقة الطماطم السوداء Tomato Black Ring Virus.

فيرس تبقع الراسبرى الحلقى Raspberry Ringspot Virus.

٣ – ينقل الجنس *Xiphinema* spp. ما يلى:

فيرس التفاف أوراق الكرفس Celery Leaf Roll Virus.

فيرس ورقة العنب المروحية Grape Fan leaf Virus.

فيرس موزايك وتورد الخوخ Peach Rosette Mosaic Virus.

فيرس تبقع الفراولة الحلقى الكامن Strawberry Latent Ringspot Virus.

فيرس تبقع الطماطم الحلقى Tomato Ringspot Virus.

فيرس تبقع التبغ الحلقى Tobacco Ringspot Virus (عن Green ١٩٨٤).

وللتفاصيل المتعلقة بموضوع الانتقال النيماتودى للفيروسات .. يراجع Brown وآخرين (١٩٩٥).

جدول (٨-٩): الفيروسات التى تنتقل بواسطة النيماتودا والأنواع النيماتودية الناقلة لهـا (عن Brown وآخرين ١٩٩٥).

الاسم المختصر	الفيرس المنقول	النيماتودا الناقلة
	NEPOVIRUSES	
		Longidorus
AILV	artichoke Italian latent (Italian strain)	*apulus*
CRosV	cherry rosette disease	*arthensis*
TBRV	tomato black ring (german/English strain)	*attenuatus*
PRMV	peach rosette mosaic	*diadecturus*
RRSV	Raspberry ringspot (Scottish strain)	*elpngatus*
TBRV	tomato black ring (Scottish strain)	
AILV	artichoke Italian latent (Greek strain)	*fasciatus*
RRSV	raspberry ringspot (English strain)	*macrosoma*
MRSV	mulberry ringspot	*martini*
		Paralongidorus
RRSV	raspberry ringspot (german grapevine strain)	*maximus*
		Xiphinema
CRLV	cherry rasp leaf	*americanum*
PRMV	peach rosette mosaic	(senso lato)
TRSV	tobacco ringspot	
ToRSV	tomato ringspot	
CRLV	cherry rasp leaf	*americnum*
TRSV	tobacco ringspot	(sensu stricto)
ToRSV	tomato ringspot	
ToRSV	tomato ringspot	*bricolensis*
CRLV	cherry rasp leaf	*californicum*
TRSV	tobacco ringspot	
ToRSV	tomato ringspot	
ArMV	arabis mosaic	*diversicaudtum*
SLRSV	strawberry latent ringspot	
GFLV	grapevine fanleaf	*index*
GFLV	grapevine fanleaf	*italiae*
CRLV	cherry rasp leaf	*rivesi*
TRSV	tobacco ringspot	
ToRSV	tomato ringspot	
	TOBRAVIRUSES	
		Paratrichodorus
PEBV	pea early-browning	*anemones*
TRV	tobacco rattle	
PRV	pepper ringspot	*minor*
TRV	tobacco rattle	*(syn. christiei)*
TRV	tobacco rattle	*nanus*
PEBV	pea early-browning	*pachydermus*
TRV	tobacco rattle	

الانتقال بوسائل أخرى

تنتقل بعض الفيروسات بوسائل أخرى نذكرها – هنا – باختصار، نظرا لمحدودية فائدتها بالنسبة لعملية تقييم المقاومة للأمراض. ومن هذه الوسائل ما يلى:

١ – الانتقال بواسطة البذور:

تنتقل بعض الفيروسات بالبذور، مثل: موزايك الفاصوليا العادى، وموزايك الخس. وبرغم أن نسبة الانتقال بالبذور تكون عادة منخفضة، إلا أن النباتات الناتجة من زراعة بذور مصابة تكفى عادة لنشر الفيرس فى الحقل بوسائل الانتقال الأخرى.

٢ – الانتقال بأعضاء التكاثر الخضرية:

تنتقل جميع الفيروسات بطرق التكاثر الخضرى المختلفة، مثل: الدرنات، والفسائل، والجذور، والأبصال ... إلخ.

٣ – الانتقال بواسطة حبوب اللقاح:

يقتصر الانتقال بواسطة حبوب اللقاح على عدد محدود جدا من الفيروسات.

هذا .. ويعطى جدول (٨–١٠) مقارنة بين الفيروسات التى يتخصص فى نقلها كائنات Vectors مختلفة من حيث خصائص عملية الانتقال ذاتها.

جدول (٨–١٠): خصائص انتقال بعض الفيروسات النباتية (عن Gibbs & Harrison ١٩٧٦).

الفيرس	الناقل vector	أقل فترة تلزم لاكتساب الفيرس	فترة الكمون (الحد الأدنى)	فترة تغذية الحقن (الحد الأدنى)	الحد الأقصى لاحتفاظ الحشرة بالفيرس	تكاثر الفيرس فى الحشرة
Y البطاطس	*Myzus persicae*	١٠ ثوان	لا توجد	١٥ ثانية	ساعتان	لا يحدث
اصفرار البنجر	*M. persicae*	٥ دقائق	لا توجد	٥ دقائق	٣ أيام	لا يحدث
اصفرار عروق والتفاف أوراق الـ Sowthistle	*Hyperomyzus lactucae*	ساعتان	٨ أيام	أقل من ساعة	أسابيع	لايحدث
تورم نموات الكاكاو	*Planococcides Njalensis*	ساعة	_	١٥ دقيقة	٤ أيام	غير محتمل

تابع جدول (٨-١٠):

الفيرس	الناقل vector	أقل فترة تلزم لاكتساب الفيرس	فترة الكمون (الحد الأدنى)	فترة تغذية الحمن (الحد الأدنى)	الحد الأقصى لاحتفاظ الحشرة بالفيرس	تكاثر الفيرس فى الحشرة
تجعد واصفرار أوراق الطماطم	*Bemisia tabaci*	٣٠ دقيقة	٢١ ساعة	٣٠ دقيقة	٢٠ يومًا	—
اصفرار عروق الخيار	*B. tabaci*	٢٠ دقيقة	لا توجد	١٠ دقائق	٦ ساعات	لا يحدث
تنجرو الأرز	*Nephotettix impicticeps*	٣٠ دقيقة	لا توجد	١٥ دقيقة	٦ أيام	غير محتمل
تجعد قمة البنجر	*Circulifer tenellus*	دقيقة	٤ ساعات	دقيقة	أسابيع	غير محتمل
سرطان الجروح Wound Tumor	*Agallia constricta*	أقل من ساعة	١٢ يومًا	أقل من ساعة	أسابيع	يحدث
موزايك الكوسة	*Acalymma trivittata*	٥ دقائق	أقل من ١٠ ساعات	دقائق قليلة	أسابيع	—
ذبول الطماطم المتبقع	*Thrips tabaci*	٣٠ دقيقة	٥ أيام	٥ دقائق	أسابيع	محتمل
موزايك القمح المخطط	*Aceria tulipae*	١٥ دقيقة	—	١٥ دقيقة	٩ أيام	—
ورقة العنب المروحية	*Xiphinema index*	١٥ دقيقة	—	١٥ دقيقة	أسابيع	لا يحدث
تحلل التبغ	*Olpidium brassicae*	دقيقتان	لا توجد	ساعتان	—	غير محتمل
موزايك القمح	*Polymyxa graminis*	أيام قليلة	—	٤ ساعات	عدة أيام	محتمل

ولمزيد من التفاصيل عن وسائل انتقال الفيروسات النباتية .. يراجع ما يلى:

المرجع	وسيلة الانتقال
Yarwood & Fulton ١٩٦٧	ميكانيكيًا
Swenson ١٩٦٧	بالحشرات
Costa ١٩٧٦	بالذبابة البيضاء
Raski & Hewitt ١٩٦٧	بالنيماتودا
Taylor ١٩٧٢	بالنيماتودا
Slykhuis ١٩٦٧ . ١٩٧٢	بالأكاروس
Teakle ١٩٦٧ ، ١٩٧٢	بالفطريات

المرجع	وسيلة الانتقال
Bennett ١٩٦٧	بالحامول
Bos ١٩٦٧	بالتطعيم
Whitcomb ١٩٧٢	بالـ Auchenorrhynchous Homoptera
Shepherd ١٩٧٢	بالبذور وحبوب اللقاح
Watson ١٩٧٢	بالمن

طرق تقدير شدة الإصابة أو المقاومة فى اختبارات التقييم

يجب عند اختيار الطريقة المثلى لتقدير شدة الإصابة أو المقاومة للأمراض أن يكون الباحث ملمًا بأعراض المرض من كافة جوانبه، وبمدى تأثير الإصابة فى النمو النباتى، ليتسنى وضع الأسس السليمة لتقدير المرض. فمثلا .. وجد Madamba وآخرون (١٩٦٥) أن إصابة العوائل غير المناسبة Uusuitable Hosts بنيماتودا تعقد الجذور يتبعه نقص فى قوة النمو. إلا أنه قد تحدث زيادة فى قوة النمو فى أحيان أخرى.

ويحدث النقص فى قوة النمو عند استعمال تركيز عال من اللقاح inoculum، بينما تحدث الزيادة فى قوة النمو عند استعمال تركيز منخفض، أو متوسط منه، ويتوقف ذلك على المحصول المَعْدِى. وقد تبين أن النباتات التى تزيد فيها قوة النمو يتكون فيها عدد كبير من الجذور الجانبية، ومرد ذلك إلى أنه – فى حالة التركيز المنخفض للعدوى – تصيب يرقات النيماتودا الجذور الأولى للنبات، الأمر الذى يؤدى إلى تكوين جذور جديدة كثيرة، فتزداد قدرة النباتات على امتصاص الماء والعناصر الغذائية، وتزيد قوة نموها تبعًا لذلك.

أما عندما يكون تركيز اللقاح مرتفعًا .. فإن جميع الجذور الأولى والتالية فى التكوين تصاب بيرقات النيماتودا، وبذا .. يستنفذ النبات مخزونه من المواد الغذائية فى تكوين الجذور الجديدة، مما يؤدى إلى نقص قوة نموه.

ونقدم فيما يلى عرضا لأهم الطرق المستخدمة فى تقدير شدة الإصابة، أو المقاومة للأمراض: