محاضرات فايروسات النبات

م. مالك حسن كريم

رابع وقاية

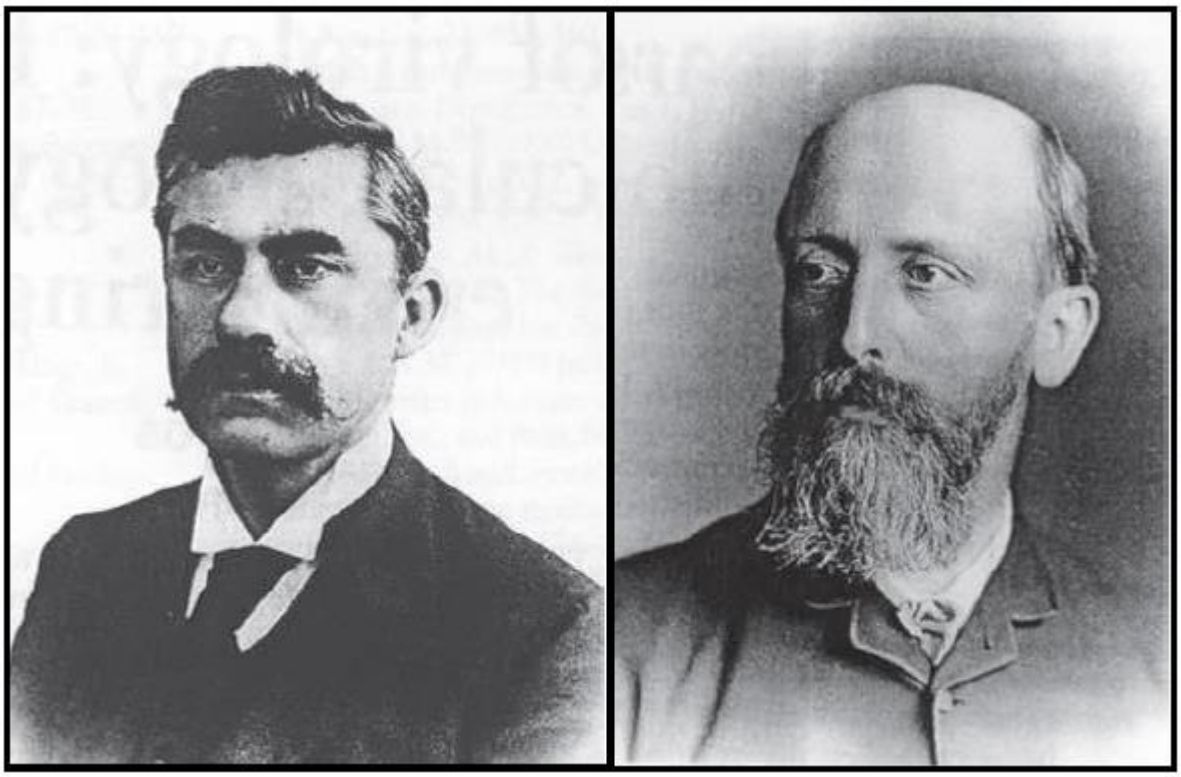
تاريخ علم فايروسات النبات

نشأ علم الفايروسات Plant Virology بجهد أنساني خلاق ومتواصل واقترن تطوره كغيره من العلوم التطبيقية بالتقانات المتيسرة لدراسة الفايروسات، وتأخرت ولادة هذا العلم لغاية نهاية القرن التاسع عشر رغم أن الأمراض الفايروسية النباتية منتشرة منذ عهود سحيقة وحفظت لنا السجلات التاريخية العديد من الوثائق المكتوبة والمصورة التي دلت على وجود تلك الأمراض فقد وصف " **كلوسياس" Carlous Closius** سنة 1576 أزهار التيوليب المصابة بأعراض "الانفصال اللوني" Color breaking (شكل1)، وهو مرض فايروسي معروف الأن ويسببه فايروس الانفصال اللوني لتيوليب (TBV) الذي يعود للجنس *Polyvwus* ويسبب أعراض تبرقش على بتلات الأزهار ويجعلها مخططة باللونين الأحمر والأصفر مما يكسبها جمالا إضافيا لذلك تدافع المعجبون لاقتنائها وقتئذ بمبالغ طائلة في أوربا، وقد رسم الفنان " بوشار" Boschaert سنة 1619 لوحة زيتية رائعة أسماها "باقة أزهار" Bouquet of flowers تظهر جمالية أزهار التيوليب المصابة واللوحة محفوظة الأن في متحف Rinks في أمستردام، وأصبح هذا المرض في القرن السابع عشر ظاهرة سميت Tulipmania وسبب خسائر كبيرة للمزارعين مما أثر في الاقتصاديين الألماني والهولندي بسبب اعتمادهما على إنتاج تلك الأزهار وعرف مربو التيوليب الألمان بان هذا المرض ينتقل إلى الأبصال السليمة بإجراء عملية تركيب بين بصلة مصابة وأخرى سليمة إذ نشر "بيلاجريف" Belagrave وصفا لذلك وربما تكون هي إحدى أولى المحاولات للنقل الخضري لفايروسات النبات، كذلك عرفت الأمراض التي تصيب البطاطا والتي انتشرت في أوربا في سنة 1765 وسببت تدهورا في إنتاجية هذا المحصول مما أدى إلى ترك المزارعين لزراعته لمدة عشر سنوات من انتشاره ونشرت حينها العديد من المقالات في وصفه وأطلقت عليه تسميات عديدة منها التدهور Degradation والضعف الإنتاجي Running-out والشيخوخة Senility، ونشر "أندرسون" Anderson سنة 1778 نتائج دراسته لهذه الأعراض ذاكرا بان الدرنات المأخوذة من نباتات مصابة تعطي نباتات مصابة وان البطاطا المزروعة في جنوب بريطانيا كانت أسوأ من تلك التي زرعت في الشمال وذلك بسبب انتشار حشرات المن في الجنوب أكثر من انتشارها في الشمال وان المرض هو معدي وأوصى بمكافحته عن طريق إتلاف النباتات المصابة.

شكل1: زهرة التيولب المصابة بمرض الانفصال اللوني.

بدأ علم فايروسات النبات بدايته الحقيقية بالبحث الذي نشره "**ماير**" **Mayer** سنة 1885 (شكل 2) عن مرض موزائيك التبغ الذي انتشر على محصول التبغ في ألمانيا وسبب خسائر كبيرة للمزارعين وهو الذي أطلق لأول مرة مصطلح "موزائيك Mosaic على تلك الأعراض (بالتسمية الألمانية Mosaik Krankheit) واستمرت دراسته لخمس سنوات وكانت أهم نتائجه هي إمكانية نقل مسبب المرض من النباتات المصابة إلى السليمة بسحب عصير الأوراق المصابة بأنابيب شعرية زجاجية معقمة وحقنها في العرق الوسطي للأوراق السليمة وبذلك اثبت أن المسبب المرضي هو عامل معدي قابل للانتقال Transmissible agent لكنه أخطأ في التفسير إذ اعتبره نوعا من البكتريا الصغيرة الحجم كما وجد أن عصير النبات المصاب لم يفقد قدرته المعدية عند ترشيحه خلال طبقة مزدوجة من ورق الترشيح ونفى أن يكون المسبب نوعا من الفطريات لإمكانية عبوره خلال ورق الترشيح، ثم أعقبه الروسي "**أيفانوفسكي**" **Ivanovesky** الذي عمل على ذات المرض ونشر بحثه سنة 1892 بعد تكليفه من الحكومة الروسية بدراسته بسبب الخسائر التي سببها على محصول التبغ في منطقة Crimea في روسيا وكرر بعض تجارب ماير وأيده في إمكانية نقل المسبب وتوصل لنتائج جديدة أهمها أن العصير لا يفقد قدرته المعدية بعد ترشيحه خلال طبقة مزدوجة من ورق الترشيح وانه بقي محتفظا بقدرته المعدية بعد ترشيحه بواسطة مرشح

شامبرلاند Chamberland filter Candle الذي يمنع مرور أي نوع من البكتريا ولهذا السبب سميت الفايروسات سابقا "الرواشح" Filterable agents ولكنه اخطأ في التفسير وذكر أن المسبب هو نوع من السموم البكتيرية أو نوع صغير جدا من البكتريا التي عبرت هذا النوع من المرشحات، وعمل الباحث الهولندي " **بايرنك**" **Beijerinck** (الشكل 2) على المرض ذاته ونشر بحثه سنة 1898 والذي ضم نتائج هامة وهي احتفاظ عصير النبات المصاب بقدرته المعدية بعد ترشيحه بمرشحات خزفية Porcelain filters إذ بقي الراشح معقما ولم تنمو فيه أية فطريات أو بكتريا وفشل في عزل أي نوع من أنواع البكتريا من ذلك العصير ثم اختبر قابلية انتشار العصير في ثقوب الاكار واستنتج بان المسبب المرضي لا يمكن أن يكون كائنا مجهريا خلويا لان ثقوب الاكار لا تسمح له بالانتشار لذلك أطلق مصطلح "السائل الحي المعدي" Contagium vivum fluidum على هذا المسبب ثم استعمل كلمة "فايروس" Virus لتمييزه عن بقية الكائنات الطفيلية، علما بان العالم "**باستور**" هو أول من أطلق كلمة فايروس سنة 1892، واثبت بايرنك بان هذا المسبب ينتقل بالأوعية الناقلة للنبات وبالتركيب كما اثبت تكاثره في النباتات المصابة وذلك من خلال التلقيح المتوالي Serial transmission لمجموعة متتالية من النباتات ووجد أن المسبب بقي محتفظا بقدرته المعدية حتى بعد تجفيف أوراق التبغ المصابة لمدة سنتين وكذلك في التربة الملوثة لنفس المدة ولكنه فقد قدرته المعدية بعد معاملته بالفورمالين وبالغليان ونفى أن يكون المسبب أي نوع من البكتريا، وهكذا فتحت البحوث المذكورة الباب أمام مزيد من الدراسات التي أرست دعائم هذا العلم فقد توالت الدراسات التي ركزت على الأعراض المرضية وطرق نقل هذا المسبب، وتم وصف المزيد من الأمراض الفايروسية النباتية خلال العقود الثلاثة الأولى من القرن العشرين ودراسة علاقتها مع الناقلات الحشرية، وكذلك أجريت دراسات لمعرفة شكل هذا الكائن باستعمال الأشعة السينية X-Ray وبعض التقانات الضوئية، كما تناولت الدراسات المدى العائلي للفايروسات والعوامل الفيزيائية والكيميائية المؤثرة على فاعليتها.



شكل 2: الصورة الشخصية لرائدي علم الفايروسات "أدولف ماير" (اليمين) و "بايرنك" (اليسار).

استعمل **سمث Smith** سنة 1931 النباتات الكاشفة لتشخيص الفايروسات و لفصل الاصابات الخليطة المتسببة عن وجود اكثر من فايروس في النبات العائل اذ استعمل نبات الداتورة *Datura stramonium* لفصل فايروسي البطاطا واي (PVY) و البطاطا اكس (PVX) عن بعضهما عند وجودهما معا في النبات اذ يصاب الداتورة بالثاني و لا يصاب بالأول.

فيما اثبت **كراشيا Gratia** سنة 1933 ان النباتات المصابة بالفايروسات تحتوي مستضداتAntigens تستحث الجهاز المناعي للبائن على انتاج اضداد Antibodies وكانت هذه اشارة مبكرة للقدرة الامناعية للفايروسات.

قام **ستانلي Stanley** عام 1935 بعزل و تنقية بلورات دقيقة بيضاء من اوراق نبات التبغ المصاب بالموزائيك و عامل اوراق نبات تبغ سليمة بالفايروس الذي رسبه من عصير نباتات تبغ مصابة بمساعدة كبريتات الامونيوم، و اظهرت النباتات المعاملة اعراض المرض، و كون دقائق الفايروس النقية تحتوي نسبة عالية من البروتين، استنتج ان الفايروس هو بروتين

ذاتي التحفيز يتمكن من التضاعف داخل الخلايا الحية، مع ان استنتاجه هذا ثبت غير صحيح فيما بعد الا انه منح جائز نوبل في الكيمياء سنة 1946 تكريما لعمله هذا.

وجد الباحثين **Bawden** و **Pieri** سنة 1936 ان بلورات الفايروس التي عزلها ستانلي هي ليست بروتين نقي بل تحتوي نسبة من الحامض النووي الرايبي RNA وذلك من خلال كشفهما عن وجود سكر الرايبوز في تركيبه و بذلك عرف ان الفايروس هو نيوكليوبروتين Nucleoprotein. ثم بين **Chester** سنة 1936 ان السلالات المختلفة لفايروسي موزائيك التبغ و البطاطا اكس يمكن تمييزهما عن بعض بالطرق المصلية و كانت هذه اول دراسة في التشخيص المصلي لفايروسات النبات.

تمكن **Markham** و **Smith** سنة 1949 من عزل و تنقية فايروس الموزائيك الاصفر للشلغم (TYMV) و وجدا ان محلوله النقي يحوي نوعين من الجسيمات، الاولى ثقيلة معدية و هي عبارة عن نيوكليوبروتين و نسبة الحامض النووي فيها 35% و الثانية خفيفة غير معدية تتكون فقط من البروتين و دل هذا على ان الحامض النووي هو المسؤول عن الاصابة.

ايضا وجد **Matthews** سنة 1955 انه عند استبدال قاعدة الكوانين Guanine في جزيئة الحامض النووي الرايبي لفايروس موزائيك التبغ و الموزائيك الاصفر للشلغم بالنظير البديل للقاعدة و هو 8-azaguanine فان الجسيمات الفايروسية التي حملت ذلك النظير كانت اقل قدرة على الاصابة و هذا دليل اضافي على دور الحامض النووي في احداث الاصابة.

في عام 1956 اثبت كل من **Gierer** و **Schram** و بشكل قطعي ان الحامض النووي هو المسؤول عن الاصابة وذلك بعد فصل الحامض النووي عن البروتين و تلقيح نباتات التبغ بالحامض النووي العاري لفايروس موزائيك التبغ حيث حصلت الاصابة فيما فشلت عن التلقيح بالبروتين الفايروسي النقي، و اكد ذلك الباحثين **Williams** و **Fraenkal** سنة 1956 وذلك بأجرائهما عملية تهجين لسلالتين من الفايروس اعلاه حيث ربط الحامض النووي العاري للسلالة الاولى مع بروتين الثانية، و بالعكس ثم لقحت بهما نباتات سليمة فظهرت الاعراض النموذجية لكل منها مما دل على عدم تأثير البروتين في احداث الاصابة.

علم فايروسات النبات

ادت الجهود التي بذلها هؤلاء الرواد و ما تلاهم من جهود الاف الباحثين الى ظهور علم فايروسات النبات Plant Virology حيث اشتق مصطلح Virology من كلمتي Virus و هي كلمة رومانية تعني "السم" و الكلمة اللاتينية Logus و تعني "العلم".

علم فايروسات النبات: هو العلم المعني بدراسة فايروسات النبات و طرق نقلها و تضاعفها و امراضيتها و تشخيصها و تنقيتها و وبائيتها و مكافحتها و دراسة الامراض التي تسببها و هو احد العلوم الاساسية الرافدة لعلم امراض النبات و الذي يستند على مجموعة علوم اساسية هي الكيمياء الحياتية و الحياة الجزيئي و فسلجه النبات.

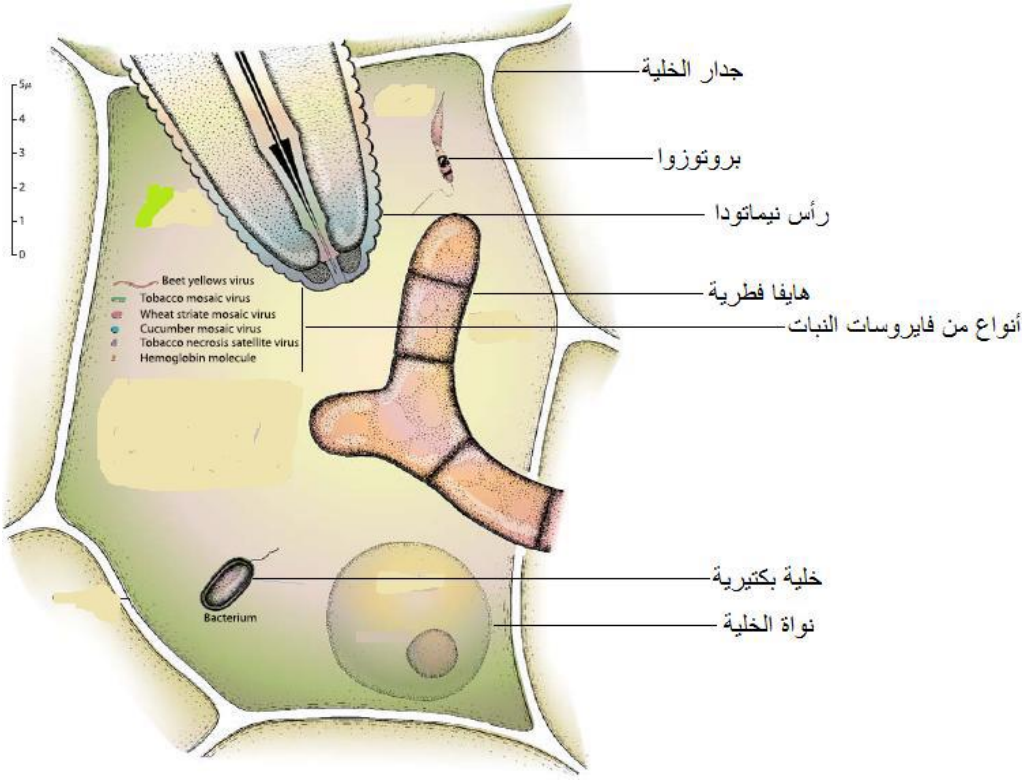
ما هو الفايروس؟

لقد حاول العديد من الباحثين و المؤلفين في علم الفايروسات وضع تعريف للفايروس، غير ان سرعة تطور هذا العلم خلال السنوات الماضية، و اتضاح التغاير الكبير في خصائص الفايروسات المختلفة قد جعل تلك التعاريف غير مجزية لكافة الخصائص التي تتصف بها الفايروسات، كما جعل من الصعب تعريف الفايروس ببضعة اسطر، الا ان التعريف الاشمل هو الذي وضعه العالم Matthews سنة 1981 "الفايروس كائن طفيلي مؤلف من جزيئة واحدة او عدة جزيئات جينومية متجانسة و متكاملة حاملة للجينات، و هي اما حامض نووي رايبي مفرد او مزدوج الخيط dsRNA or ssRNA او حامض نووي منقوص الاوكسجين مفرد او مزدوج الخيط dsDNA or ssDNA و التي يضمها غطاء بروتيني واقي Coat protein يسمى " **الكابسيد**" Capsid و تمتلك الفايروسات المعقدة غلاف اضافي Envelope مكون من البروتين و الدهون يغلف الكابسيد، و ان هذه الجزيئات الجينومية قادرة على انجاز تضاعفها الذاتي داخل الخلايا الحية فقط بالاعتماد على الية تخليق البروتين في خلايا العائل، فهي لا تمتلك الالية الجزيئية الذاتية للتضاعف، كما تحصل على مكوناتها الاساسية و هي النيوكليوتايدات و الاحماض الامينية من خزين الخلية و عليه فان الفايروسات تتكون من وحدات يتم تجميعها وذلك بعد تخليقها من قبل خلايا العائل، اما بقية الكائنات المتطفلة فتتألف اجسامها من وحدات بنائية تخلقها بنظامها الايضي الخاص بها، لا تمتلك الفايروسات النباتية نظام خزن و اطلاق الطاقة المتمثل بمركب الادينوسين ثلاثي الفوسفات ATP، و تمتلك الفايروسات قدرة الانتقال من النباتات المصابة بها و احداث العدوى في افراد جديدة.

تسمى الجسيمة الفايروسية الكاملة "**الفريون**" Virion و يعرف بانه " الفايروس القادر على احداث الاصابة و الكامل تركيبيا اي يحوي على الحامض النووي و الغطاء البروتيني (الكابسيد) في الفايروسات البسيطة، و الحامض النووي و الكابسيد و الغلاف الليبوبروتيني في الفايروسات المغلفة Enveloped viruses.

يمكن ايضا تعريف **الفايروس (Virus)**: جسيمات ممرضة تتألف من نوع واحد من الحوامض النووية اما RNA او DNA يغلفها غلاف بروتيني يعمل على حماية الحامض النووي من التأثيرات الخارجية و لا يحتوي الفايروس على نظام انزيمي لإنتاج الطاقة ATP و تكمن فعالية الفايروسات في حامضها النووي و الذي يحمل المعلومات الوراثية و الجينية اللازمة للتضاعف و انتاج فريونات جديدة، و يعتمد على مكونات الخلية خصوصا بعض الانزيمات او الرايبوسومات وبذلك يمثل حالة تطفل اجباري.

ان الفايروسات النباتية هي احدى اصغر الكائنات المتطفلة على النباتات رغم وجود قلة من الفايروسات التي يزيد طولها عن انواع الركتسيا و الفايتوبلازما الممرضة للنبات و منها فايروس ترستيزا الحمضيات (CTV) و هو اطول فايروس نباتي مكتشف حيث يبلغ طوله بحدود 2000 نانومتر لذلك فهو الوحيد من الفايروسات النباتية الذي يمكن رؤيته بالمجهر الضوئي. و لتخيل حجم الفايروسات النباتية المتناهي في الصغر ناخذ مجموعة مختارة من الفايروسات مقارنة مع حجوم اهم ممرضات النبات داخل الخلية النباتية (شكل1).



شكل1: مقارنة بين حجوم عدة انواع من الفايروسات مع بعض اهم ممرضات النبات داخل خلية النبات العائل.

المكونات التركيبية و الوظيفية للفايروسات

الحامض النووي The Nucleic Acid

لا يختلف الحامض النووي الفايروسي في التركيب العام عن الاحماض النووية الخلوية الموجودة في كل الكائنات الحية، و تحتوي الفايروسات على نوع واحد من الحامض النووي الذي اما ان يكون DNA (Deoxyribonucleic acid) او RNA (Ribonucleic acid) يكون موقع الحامض النووي داخل جسيمة الفايروس و محاط من جميع جوانبه بالغلاف البروتيني. توجد اربعة انواع للأحماض النووية الفايروسية هي:

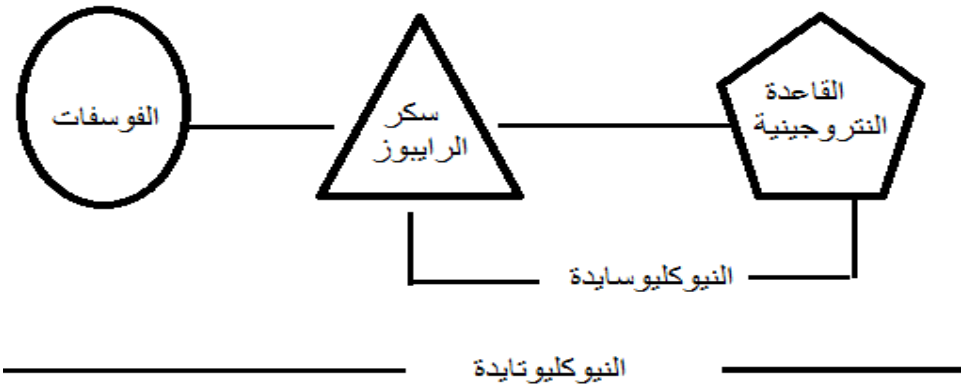
أ. حامض نووي DNA مزدوج الشريط ds-DNA (Double-Stranded DNA)
كما في فايروس موزائيك القرنابيط *Cauliflower mosaic virus*

ب. حامض نووي DNA مفرد الشريط ss-DNA (Single-Stranded DNA)
كما في فايروس تجعد و اصفرار اوراق الطماطة *Tomato yellow leaf curl virus*

ت. حامض نووي RNA مزدوج الشريط ds-RNA (Double-Stranded RNA)
كما في فايروس تقزم الرز *Rice dwarf virus*

ث. حامض نووي RNA مفرد الشريط ss-RNA (Single-Stranded RNA)
كما في فايروس اصفرار البنجر *Beet yellow virus*

بذلك يظهر نوعين من الاحماض النووية الغريبة التي لا توجد في الكائنات الحية و هما ssDNA و dsRNA، و تمثل الفايروسات ذات الحامض النووي الرايبي مفرد الخيط حوالي 60% من فايروسات النبات المكتشفة. الحامض النووي الفايروسي سواء كان من نوع RNA او DNA هو مركب ذو وزن جزيئي عالي يتالف من سلاسل غير متفرعة لوحدات بنائية متكررة هي النيوكليوتيداتNucleotides و بذلك فان الحامض النووي هو مكوثر (Polymer) مكون من النيوكليوتيدات المتعاقبة و التي تمثل الوحدة البنائية و الوظيفية للحامض النووي. تتكون النيوكليوتايدة الواحدة من ثلاث مكونات هي (1) القواعد النايتروجينية (2) سكر الرايبوز في RNA او سكر الرايبوز منقوص الاوكسجين في DNA (3) الفوسفات (شكل2).



شكل2: مخطط عام للمكونات الثلاثة الاساسية للنيوكليوتايدة.

البروتين الفايروسي

يماثل البروتين الفايروسي تركيبيا اي بروتين خلوي فهو مكوثر (بولمر) لوحدات بنائية وظيفية هي الاحماض الامينية Amino acids، ويرتبط كل حامض اميني بالذي يليه في سلسلة الببتيد باصرة ببتيدية Peptide bond و التي تسمى ايضا اصرة الاميد Amide bond.

تنتج الفايروسات بروتيناتها على وفق الشفرة الوراثية التي يحملها الحامض النووي و يخلق البروتين في رايبوسومات خلية العائل و بنفس الية تخليق البروتينات الخلوية وبذات الاحماض الامينية الموجودة في الخلية. تكون معظم فايروسات النبات بروتينا تركيبيا بسيطا مكونا من وحدات بروتينية تركيبية Protein subunits متماثلة او مختلفة و يتراوح الوزن الجزيئي لهذه الوحدات بين 13-110 الف دالتون، فيما تمتلك الفايروسات المغلفة بروتينا يرتبط مع الليبيد ليكون الليبوبروتين Lipoprotein، و يرتبط هذا البروتين في بعض الفايروسات مع الكاربوهيدرات ليكون الكلايكوبروتين Glycoprotein. يحتاج تخليق بروتين فايروسي بحجم متوسط لشفرة بتعاقب 1000 نيوكليوتايدة في خيط نووي مفرد، او 2000 نيوكليوتايدة في خيط نووي مزدوج.

وظائف البروتين التركيبي الفايروسي

يؤدي البروتين التركيبي الوظائف التالية:

1. حماية الجينوم الفايروسي من المؤثرات المتلفة له وهي الانزيمات المحللة و الاشعة فوق البنفسجية و الاشعة المؤينة و الاكسدة و الحرارة.
2. هو المسؤول عن تحديد الشكل الخارجي للفايروس لانه يشكل الكتلة الاكبر للفايروس.
3. يلعب دور في الاصابة الفايروسية حيث يرتبط مع بروتين الحركة في بعض انواع الفايروسات و بالتالي يسهل نقلها عبر الخلايا عن طريق بروتين الحركة في بعض انواع الفايروسات و بالتالي يسهل نقلها عبر الخلايا عن طريق البلازموديزماتا.
4. له دورا هاما في تخصصية نقل الفايروسات بالناقلات.

الجينات الفايروسية و شفراتها الجينية

الجين Gene هو تعاقب معين لعدد من النيوكليوتايدات في الدنا المزدوج dsDNA في كل الكائنات الحية و يبلغ حجم ذلك التعاقب 300-6000 زوج من النيوكليوتايدات و اللازم لتشفير سلسلة متعدد ببتيد. اما **الجين الفايروسي** فانه تعاقب نيوكليوتايدي معين سواء في الرنا او الدنا و حسب نوع الفايروس و الذي يشفر البروتين التركيبي للكابسيد او البروتينات الوظيفية الفايروسية و هي انزيمات التضاعف و بروتينات الحركة و النقل بالناقل.

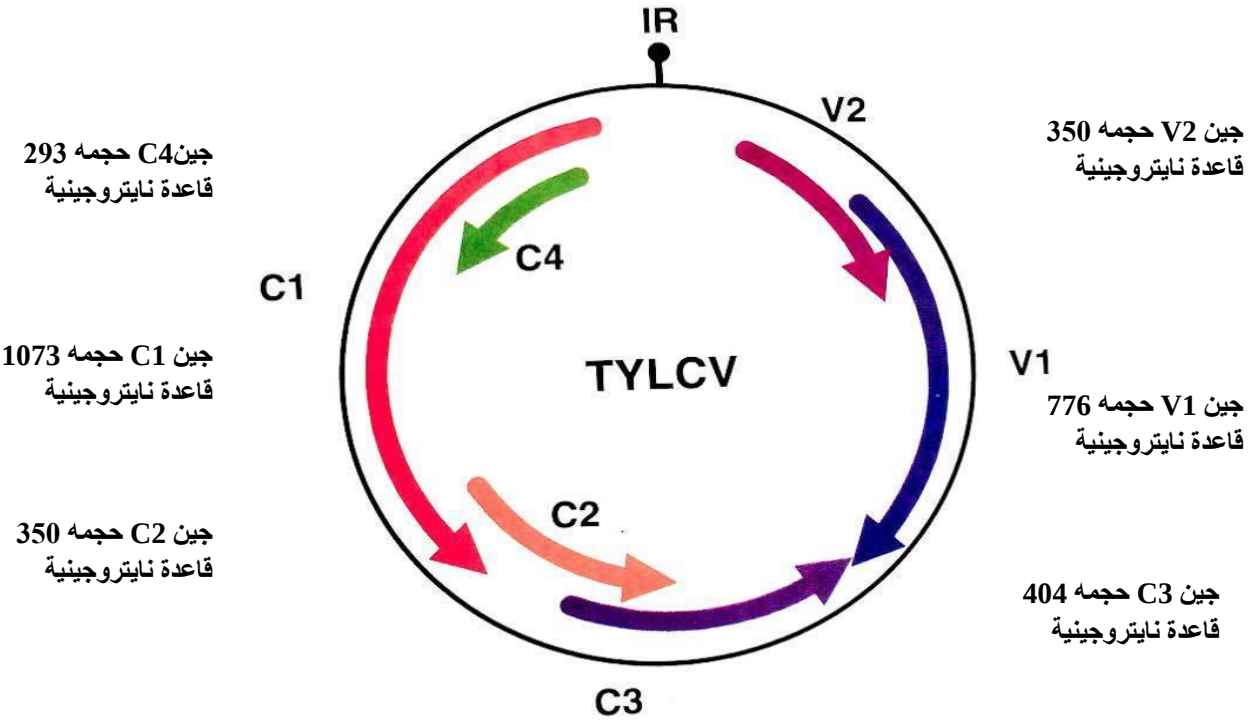
يحسب حجم الجين بضرب عدد الاحماض الامينية الموجودة في سلسلة الببتيد المعني ×3 و الناتج هو عدد نيوكليوتايدات في ذلك الجين. لان كل ثلاثة نيوكليوتايدات متعاقبة من الدنا او الرنا الفايروسي و التي يطلق عليها "الكودون" Codon تشفر حامض اميني واحد. تمتلك الفايروسات عدد قليل من الجينات تتراوح بين 5-20 جين مقارنة ببكتريا القولون E-coli التي تمتلك 400 جين.

الجينوم الفايروسي

الجينوم Genome هو التعبير الوراثي للحامض النووي الحامل للجينات، عليه فان جينوم كل الكائنات الحية يتمثل بحامض الدنا المزدوج dsDNA، اما في الفايروسات فان الرنا و الدنا الفايروسيين و بنوعيهما المفرد و المزدوج الخيط يمثلان الجينوم، اي ان الانواع الاربعة من الاحماض النووية الفايروسية تحمل الجينات، و يطلق مصطلح الجينوم على مجموع الجينات و لا يشمل اليلاتها، اما مصطلح النمط الجيني Genotype فيشمل الجينات و اليلاتها.

يشفر الجينوم الفايروسي عدة انواع من البروتينات و التي تقع في مجموعتين رئيسيتين هما:

1. **البروتينات التركيبية** المكونة لغطاء الفايروس.
2. **البروتينات الوظيفية** و التي تشمل انزيمات التضاعف Replicase المسؤول عن تضاعف الحامض النووي، و بروتين الحركة Movement protein المسؤول عن نقل الفايروس عبر خلايا النبات و غيرها.



شكل 3: نموذج تخطيطي يوضح ترتيب الجينات لجينوم فايروس تجعد واصفرار اوراق الطماطة (TYLCV) الذي يبلغ حجمه حوالي 2500-3000 قاعدة نايتروجينية (Butterbach و آخرون، 2014).

***الفايتوبلازما Phytoplasma**: كائنات احادية الخلية اجبارية التطفل، متناهية بالصغر اذ لا يمكن رؤيتها الا بالمجهر الالكتروني و تسبب اعراض شبيهة بالتي تسببها الفايروسات كالاصفرار و التشوهات. يتراوح حجمها ما بين 150-300 نانوميتر و تحتوي على DNA و RNA معا علاوة على الرايبوسومات و تحاط بغشاء خلوي ثنائي الطبقات و غير محاطة بجدار خلوي. تتكاثر بالانشطار الخلوي و يمكن تثبيط نموها باستخدام المضادات الحيوية.

** **الريكتسيا Rickettsiae**: كائنات احادية الخلية اجبارية التطفل، غير متحركة و متناهية بالصغر يصل حجمها الى 300 نانوميتر و تحتوي على سايتوبلازم و اشرطة DNA و رايبوسومات و تكون محاطة بجدار خلوي و غشاء خلوي و هي ليست فايروسات بسبب انها تتكاثر بالانشطار الثنائي و تمتلك انزيمات لانتاج الطاقة ATP.

*** **البلازميدات Plasmids**: عبارة عن عناصر وراثية تمتاز بقدرتها على التضاعف ذاتيا و توجد في العديد من البكتريا، تتالف من DNA حلقي مغلق و تستطيع بعض البلازميدات من الاندماج مع كروموسوم العائل و تتضاعف معه و هي بذلك تتشابه مع بعض الفايروسات. تختلف عن الفايروسات بالمواصفات الاتية:

1. تتالف الفايروسات من جسيمات تحتوي على غلاف بروتيني لحماية الحامض النووي من الظروف البيئية الخارجية ويمكن الفايروس من الدخول داخل خلايا العائل.

2. تمتلك الفايروسات مادة وراثية خاصة بها و هي تنتج بروتينات وظيفية خاصة بالفايروس فقط و هي غير نافعة للعائل في حين ان المادة الوراثية للبلازميد تكون نافعة لعوائلها كاحتوائها على جينات مقاومة تجعل من البكتريا التي تحتويها مقاومة لبعض المضادات الحيوية.
3. غالبا ما تقتل الفايروسات الخلايا التي تهاجمها في حين البلازميدات لا تسبب موت الخلية التي تدخل فيها.

تسمية و تصنيف فايروسات النبات

تعد التسمية و التصنيف من الضروريات اللازمة لدراسة ووصف الكائنات الحية و الغاية من التصنيف هي جمع الكائنات في مراتب تصنيفية تربطها علاقات التماثل و الاختلاف في الصفات لذا يمكن تعرف تصنيف الفايروسات بانها "عملية ترتيب الفايروسات في مراتب تصنيفية ذات قرابة وفقا للصفات المشتركة و المختلفة بينها". مرت عملية تسمية و تصنيف فايروسات النبات بمراحل تطورية عديدة وذلك منذ اكتشاف الفايروسات في اواخر القرن التاسع عشر الى ان انتهى بنظام التصنيف الحالي المعتمد و الذي اقرته "اللجنة الدولية لتصنيف الفايروسات" International Committee of Taxonomy of Virus و التي تعرف اختصارا "ICTV" و هي اللجنة المخولة بتسمية و تصنيف الفايروسات و التي تضم عددا من اللجان الفرعية احداها "لجنة فايروسات النبات".

يمثل نظام التصنيف الحالي المعتمد للفايروسات النظام المنطقي القادر على تقديم مؤشرات عن تطور الفايروسات وذلك لأنه جاء تتويجا لعدة نظم سابقة كما انه جيد التنظيم و مستند على خصائص فايروسية واضحة وثابتة مناسبة لإظهار حالات التماثل و الاختلاف بين الفايروسات ولم يتم ادخال الفايروسات ضمن النظم التصنيفية المعتمدة للكائنات الحية لأنه كائن غير خلوي لذا وضعت الفايروسات في مجموعة تصنيفية مستقلة لا علاقة لها باي مجموعة من الكائنات الحية.

الخصائص و الصفات الفايروسية التي استند عليها التصنيف

اولا: الخصائص المعتمدة على الحامض النووي

1. نوع الحامض النووي DNA او RNA.
2. عدد السلاسل للحامض النووي، مزدوج او مفرد.
3. الوزن الجزيئي للحامض النووي.
4. الطريقة التي تترجم بها المعلومات الوراثية الى بروتينات.
5. وجود انزيم Transcriptase الذي يشترك في تكوين الاحماض النووية.
6. الاستجابة للمؤثرات الفيزيائية و الكيميائية.
7. الصفات المستضدية.
8. الصفات البايلوجية و تشمل استراتيجية التضاعف و المدى العائلي و طريقة الانتقال و الامراضية.

ثانيا: الخصائص المعتمدة على تنظيم الغلاف

1. الشكل و الحجم العام لجسيمة الفايروس وهذه تشاهد بواسطة المجهر الالكتروني.
2. عدد وحدات الغلاف (Capsomeres).
3. وجود او غياب الغشاء، و عليه تكون مغلفة او عارية.
4. التناظر العام للغلاف.

تسمية فايروسات النبات

مرت تسمية فايروسات النبات بمراحل عديدة و وضعت طرقا عديدة و متنوعة لتسميتها و اهمها التسمية باستعمال الاسم الانكليزي الشائع، حيث اعتمد في هذه التسمية على نظام يستند على استعمال اسم النبات الذي سجل عليه الفايروس لأول مرة كعائل طبيعي له متبوعا بالأعراض التي يسببها عليه و يتبع ذلك بكلمة "Virus" و مثال ذلك تسمية فايروس موزائيك التبغ *Tobacco mosaic virus* و تبدأ الكلمة الاولى بحرف كبير و يكتب الاسم العلمي بأحرف مائلة و هو يمثل اسم النوع Species لذلك الفايروس و عند ورود اسم الفايروس لأول مرة في اي مقالة علمية يكتب اسم العائلة ثم الجنس بالأحرف المائلة متبوعا بالاسم العلمي للفايروس ثم مختصر الاسم بين قوسين بأحرف كبيرة، ومثال ذلك فايروس الموزائيك الاصفر للفاصوليا، و يكتب بالشكل التالي:

(*Potyviridae, Potyvirus*) *Bean yellow mosaic virus* (BYMV)

↑ اسم العائلة يكتب مائل

↑ اسم الجنس للفايروس يكتب مائل

↑ اسم النوع للفايروس يكتب الحرف الاول كبير وبقية الحروف صغيرة و مائلة

↑ اسم الفايروس المختصر يكتب بحروف كبيرة غير مائلة

ايضا تسمية فايروس موزائيك التبغ *Tobacco mosaic virus* (*Tobamovirus*) (TMV) حيث ذكر فقط اسم الجنس لهذا الفايروس لأنه لم ينتمي الى عائلة لغاية اليوم، و هكذا فان صيغة التسمية الحالية هي المعتمدة حاليا و هي تختلف عن نظام تسمية الكائنات الحية و الذي يعتمد نظام التسمية العلمية الثنائية.

التقسيمات العليا للفايروسات تميز 5 مجاميع رئيسية على اساس طبيعة الجينوم:

1. الفايروسات مزدوجة الدنا (dsDNA).
مثالها فايروس موزائيك القرنابيط *Cauliflower mosaic virus* الذي ينتمي لعائلة *Caulimoviridae* جنس *Caulimovirus*.
2. الفايروسات مفردة الدنا (ssDNA).
مثل فايروس تجعد و اصفرار اوراق الطماطة *Tomato yellow leaf curl virus* الذي ينتمي لعائلة *Geminiviridae* جنس *Begomovirus*.
3. الفايروسات مزدوجة الرنا (dsRNA).
مثل فايروس التورم الجرحي *Wound tumor virus* الذي ينتمي لعائلة *Reoviridae* جنس *Phytoreovirus*.
4. الفايروسات مفردة الرنا سالبة التوجه (Negative sense- ssRNA).
مثل فايروس التقزم الاصفر للبطاطا *Potato yellow dwarf virus* عائلة *Rhabdoviridae* جنس *Nucleorhabdovirus*.
5. الفايروسات مفردة الرنا موجبة التوجه (positive sense- ssRNA).
مثل فايروس موزائيك البروم *Brome mosaic virus* عائلة *Bromoviridae* جنس *Bromovirus*.

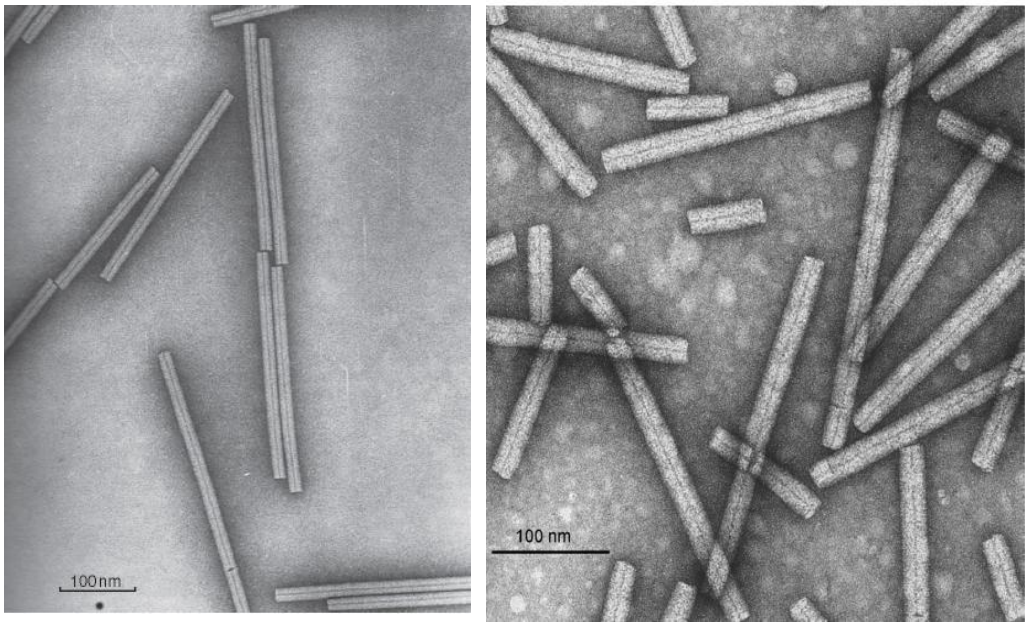
اشكال و هيكلية فايروسات النبات

اشكال الفايروسات

تمتلك فايروسات النبات الاشكال الظاهرية التالية و التي تمت رؤيتها بالمجهر الالكتروني، و فيما يلي وصف لهذه الاشكال:

1. **الفايروسات العصوية الصلدة Rigid rod viruses**

تمتاز الفايروسات العصوية الصلدة بشكلها العصوي الانبوبي المستقيم، و هي غير قابلة للانثناء بسبب قوة الاواصر الايونية بين الوحدات البروتينية لغطائها البروتيني، تتراوح اطوال هذه الفايروسات بين 300-500 نانوميتر، اما قطرها فهو بحدود 12 نانوميتر، ومن امثلتها فايروس موزائيك التبغ(TMV) و فايروس موزائيك الطماطة (ToMV)(شكل1).



شكل1: الجسيمات الفايروسية العصوية الصلدة الانبوبية تحت المجهر الالكتروني.

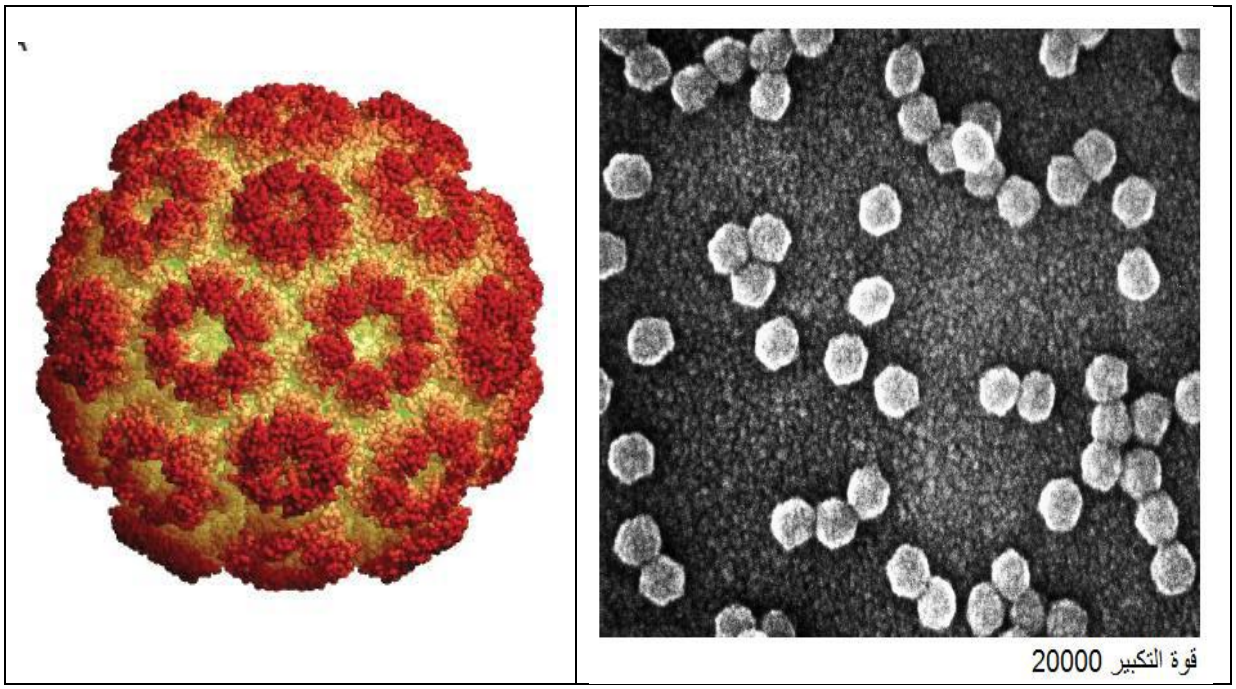
2. **الفايروسات العصوية المرنة Flexuous rod viruses**

الفايروسات العصوية المرنة شبيهة بالفايروسات العصوية ولكنها مرنة قابلة للانثناء و هي اطول عادة من الفايروسات العصوية الصلدة و تضم اطول فايروسات النبات المكتشفة و هما فايروسي ترستيزا الحمضيات (CTV) و اصفرار البنجر (BYV) اللذان تصل اطوالهما الى 2000 نانوميتر على التوالي.

يطلق على نوعي الفايروسات العصوية الصلدة و المرنة ايضا " الفايروسات الانبوبية" Tubular viruses و هي تمثل نسبة كبيرة من انواع فايروسات النبات اذ تشكل ما يقرب من 50% من مجمل الفايروسات المسجلة.

3. الفايروسات الايزومترية Isometrical viruses

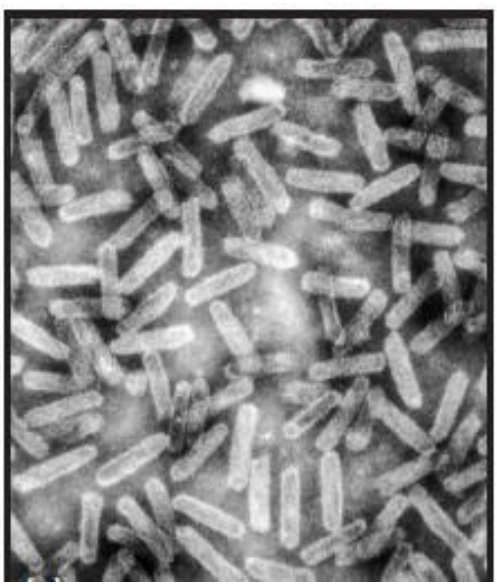
تمتـــاز الفايروســـات الايزومتريـــة و المســـماة ايضـــا الفايروســـات الكرويـــة Spherical viruses او الفايروسات البلورية Polyhedral viruses او الفايروسات العشرينية الاوجه Icosahedral viruses بشكلها البلوري المنتظم المغلف، وتتباين اقطارها بين 25-50 نانومتر و هي تشكل نسبة كبيرة ايضا من انواع فايروسات النبات، و مـن امثلتهـا فـايروس موزائيـك الخيـار (CMV) و فـايروس موزائيـك القرنـابيط (CaMV).

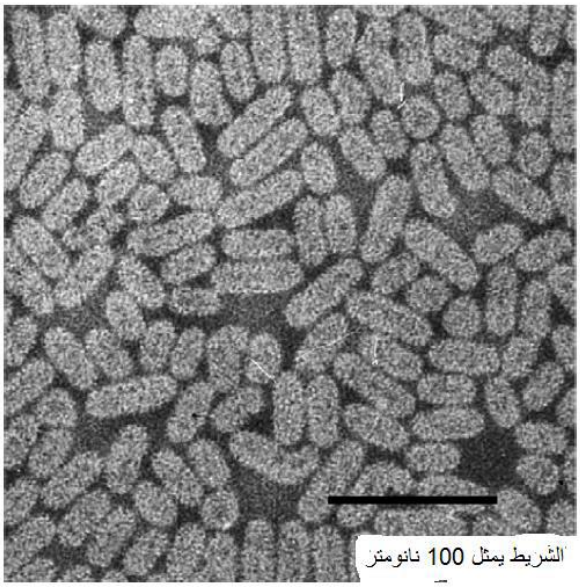


شكل2: انواع من الفايروسات الايزومترية (1) الجسيمات البلورية لفايروس التقزم الاصفر للشعير (BYDV). (2) شكل مجسم للتركيب السطحي لفايروس موزائيك البروم يظهر الكابسوميرات الخماسية و السداسية.

4. الفايروسات الباسيلية Bacillus virus

تمتاز الفايروسات الباسيلية بشكلها الانبوبي العصوي القصير مع نهايات مكورة بشكل نصف دائري، و تتباين في اطوالها و اقطارها حسب نـوع الفـايروس ومـن امثلتهـا فايروس موزائيك الجت (AMV)(شكل 3).





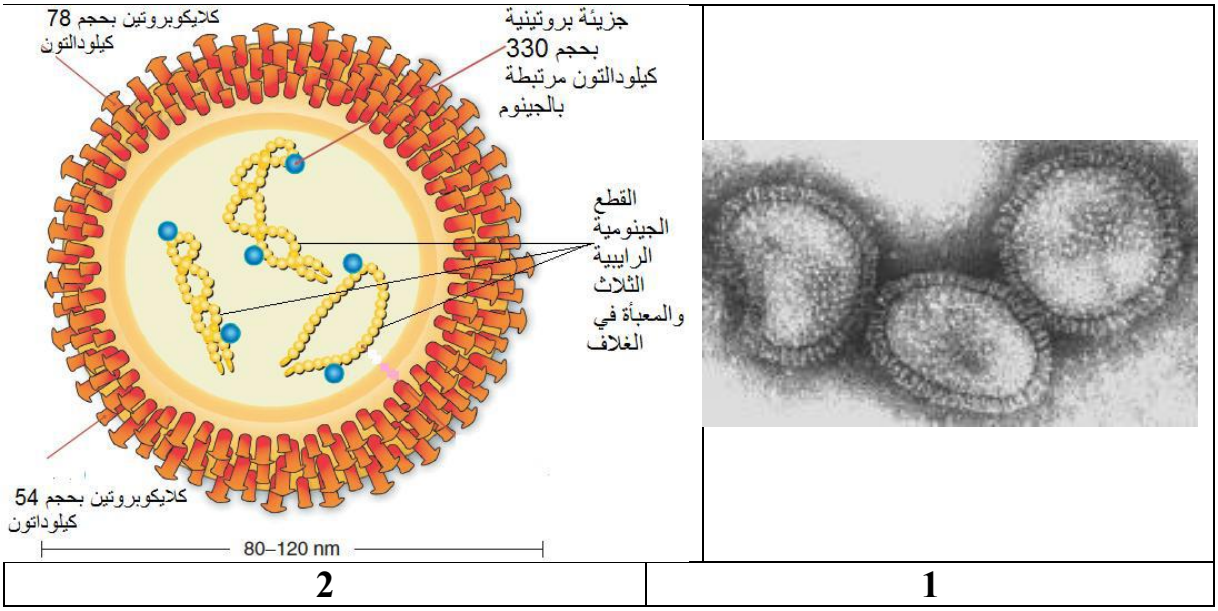
شكل 3: الجسيمات الباسيلية.

5. الفايروسات الشبيهة بالاطلاقة Bullet-shaped virus

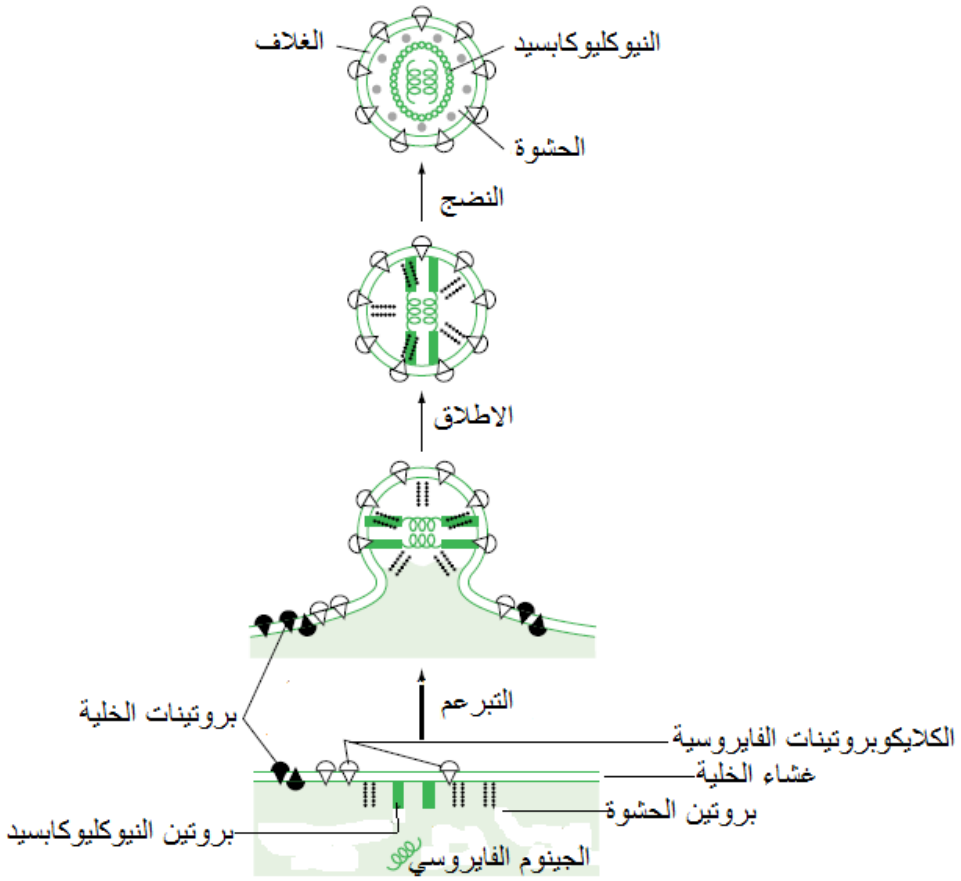
تمتلك الفايروسات الشبيهة بالاطلاقة شكلا يماثل كثيرا الشكل الباسيلي الا ان احدى النهايتين مستقيمة تماما، و تتباين في اطوالها و اقطارها حسب نوع الفايروس، ومن امثلتها فيروس الاصفرار التماوتي للخس (LNYV).

6. الفايروسات المغلفة Enveloped viruses

هي فايروسات معقدة التركيب تمتلك غلافا اضافيا Envelope ليبو بروتيني يحيط بالكابسيد البروتيني الذي قد ياخذ شكلا مغايرا احيانا للغلاف الخارجي، ومن اهم امثلتها الانواع التابعة لعائلة Rhabdoviridae التي تمتلك جسيماتها غلافا باسيليا او شبيها بالاطلاقة مكونا من الليبيد التي تبرز منه اشواكا كلايكوبروتينية Spikes و يضم داخله نيوكليوكابسيد حلزوني التنظيم، كذلك الانواع التابعة لعائلة Bunyaviridae و هي فايروسات مغلفة كروية او متعددة الاشكال ذات اشواك كلايكوبروتينية خارجية منطمرة في غلاف ليبيدي مزدوج(شكل4)، و نظرا لتماثل اغلفة هذه الفايروسات تركيبيا مع الاغشية الخلوية الليبيدية المزدوجة المغلفة للعضيات الخلوية لذا اقترح الباحثون ان الفايروسات المغلفة تكتسب اغلفتها من الاغشية الخلوية الليبيدية المزدوجة وذلك خلال عبورها هذه الاغشية اثناء حركتها في الخلية بالية التبرعم شكل (5).



شكل4: الفاايروسات المغلفة (1) جسيمة مغلفة عصوية معقدة تمثل فايروسات الرابدو Rhabdoviruses مصورة بالمجهر الالكتروني، (2) مخطط لمقطع في جسيمة لفايروس التوسبو Tospoviruses المغلفة الكروية.



شكل5: الية التبرعم Budding التي تفسر تغليف الفايروسات المغلفة بالغلاف الليبيدي المزدوج ذو المنشأ الخلوي خلال عبورها اغشية خلايا العائل.

انواع التناظر في فايروسات النبات

يوجد نوعين رئيسيين من التناظر لفايروسات النبات وهما:

اولا: التناظر الحلزوني Helical symmetry

هو التناظر الثنائي الذي يميز الفايروسات الانبوبية بنوعيها الصلد و المرن و كذلك الفايروسات الباسيلية و شبيهة الاطلاقة. و التناظر الثنائي لاي جسم يعني انتصاف ذلك الجسم الى نصفين متماثلين تماما عن مرور خط و همي في محوره الطولي.

ثانيا: التناظر المكعبي Symmetry cubic

يسمى التناظر البلوري ايضا وهو الذي تمتاز به كل انواع الفايروسات البلورية او الكروية او الايزومترية او العشرينية الوجه و هو تناظر ثلاثي حيث تمتلك البلورة الفايروسية ثلاثة محاور تدويرية و حسب مسقط النظر عند تدوير الجسيمة البلورية و هي:

1. التناظر الثنائي 2-Fold symmetry
2. التناظر الثلاثي 3-Fold symmetry
3. التناظر الخماسي 5-Fold symmetry

شكل6: انواع التناظر في الفايروسات البلورية.

الاصابة الفايروسية
التضاعف الفايروسي و حركة الفايروسات في النبات

مراحل الاصابة الفايروسية

ان الفايروس الناجح هو الذي يتمكن من التضاعف في خلايا النبات المصاب بعد دخوله فيها ثم الحركة من الخلايا المصابة الى بقية انسجة النبات، لذا فان نجاح الاصابة الفايروسية الجهازية يتطلب تضاعف الفايروس اولا داخل الخلايا المصابة ثم حركته من الخلية المصابة الى الخلايا المجاورة السليمة و تكرار الاصابة و الحركة وصولا الى الاوعية الناقلة، عليه تمر الاصابة الفايروسية بالمراحل المتتالية التالية في النبات العائل.

اولا: مرحلة وصول و دخول الفايروس الى النبات

تصل الفايروسات الى النباتات بوسائل النقل المختلفة (التي سنأخذها لاحقا في المحاضرة السادسة الجزء العملي)، و تلعب الناقلات بأنواعها الدور الاهم في نقل عدد كبير من انواع الفايروسات و ايصالها الى النباتات السليمة ثم تلقيحها بالفايروس و ادخاله الى خلاياها، حيث تخترق السطح النباتي المكون من الشمع و الكيوتكل و الجدر الخلوية التي لا تستطيع الفايروسات اختراقها، لذا و لتحقيق الاصابة فانه يجب ان تدخل الفايروسات الى النباتات ميكانيكيا عبر خلايا البشرة المجروحة بجروح غير مميتة (اي المزال عنها الجدار الخلوي)، ويتحقق ذلك حينما تصل الجسيمات الفايروسية محمولة بعصير النبات المصاب و تدخل في الخلايا المجروحة او تدخل مباشرة بواسطة الناقلات بأنواعها و التي تخترق الطبقات النباتية اعلاه و تنقل الفايروسات اثناء تغذيتها، و لم يسجل دخول اي فايروس نباتي عن طريق الفتحات الطبيعية في النبات و هي الثغور و العديسات و الثغور المائية و الغدد الرحيقية.

ثانيا: تضاعف فايروسات النبات

يعتمد تضاعف الفايروسات على جينوماتها التي تتباين في انواعها حسب نوع الفايروس، الا انها تشترك بآليات عامة فهي تبدأ بالتضاعف مباشرة بعد دخولها الى سايتوبلازم خلايا النبات العائل، و فيما يأتي خطوات تضاعف الفايروس النباتي.

1. مرحلة نزع الغطاء البروتيني (ازالة الكابسيد)

تشترك كل الفايروسات و بغض النظر عن نوع جينومها في خطوة نزع الغطاء البروتيني، حيث تدخل كل انواع الفايروسات الى النبات بشكل فايروس كامل (الفريون). يبدأ تفكيك الغطاء البروتيني الى وحداته البنائية البروتينية الاساسية لتحرير الجينوم كي يتمكن من اظهار (ترجمة) معلوماته الوراثية اي تفعيل جيناته و يحصل ذلك خلال ساعات من دخول الفايروس الى الخلية.

2. مرحلة تضاعف الحامض النووي الفايروسي

يبدا الحامض النووي الفايروسي (الجينوم) بالتضاعف فور انتهاء عملية تفكيك الغطاء البروتيني ولكن تتباين آليات التضاعف حسب نوع الحامض النووي الفايروسي و

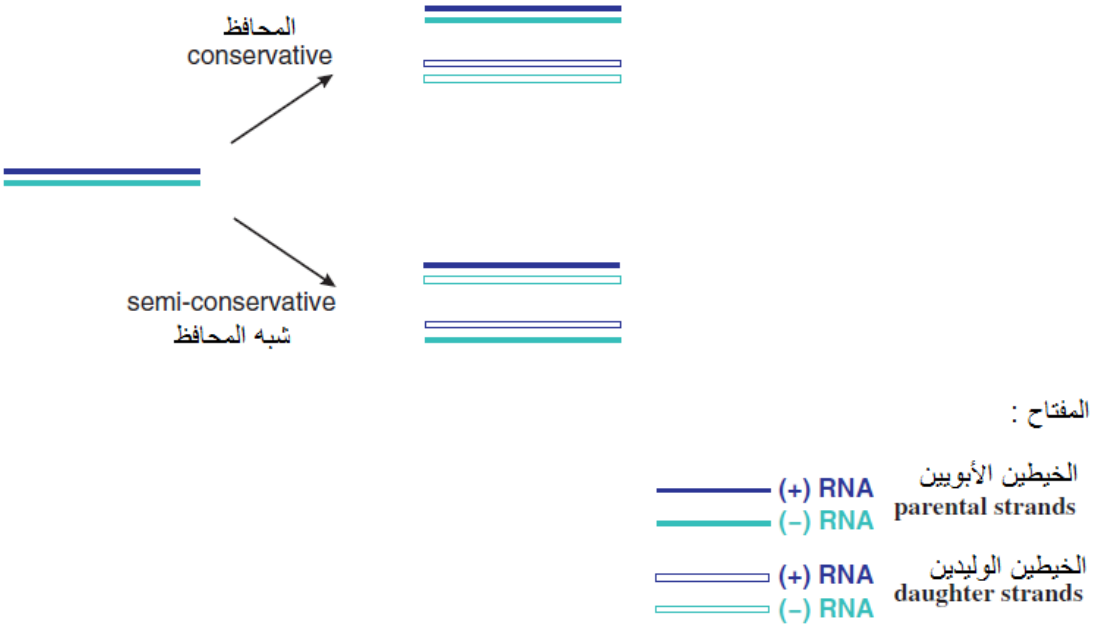
اذا كان مفرد او مزدوج الخيط و هل هو موجب ام سالب التوجه، و تتماثل اليات تضاعف جينومات فايروسات النبات عموما مع اليات تضاعف و استنساخ الاحماض النووية الخلوية.

يتم تضاعف الجينوم الفايروسي من الجينوم الابوي في انواع الفايروسات مزدوجة الخيط سواء كانت dsDNA او dsRNA بطريقة التضاعف شبه المحافظ "Semi-conservative replication" حيث تنتج هذه الطريقة جينوما مماثلا للجينوم الابوي اذ ينفصل الخيطين الاصليين للجينوم الابوي عن بعضهما اولا ثم يكون كل منهما خيطه التكاملي و كما في الشكل1، ومن المعروف ان الدنا في الكائنات الحية يتضاعف بثلاث طرق و هي:

طريقة التضاعف المحافظ Conservative replication: حيث يعود الخيطين الاصليين للجينوم بعد انفصالهما و تخليق الخيطين الجديدين الى الارتباط ثانية فيما يرتبط الخيطين الجديدين معا.

طريقة التضاعف شبه المحافظ Semi-conservative replication

طريقة التضاعف المشتت Dispersive replication: حيث تتوزع قطع الجينوم الابوي عشوائيا في خيطي الجينوم الوليد.



شكل1: طريقتي التضاعف المحافظ و شبه المحافظ للحامض النووي الرايبي مزدوج الخيط و هي ذاتها تحصل مع dsDNA.

ملخص لعملية تضاعف الحامض النووي بالمسارات التالية:

المسار الاول: استنساخ dsDNA بواسطة " انزيم كوثرة الرنا المعتمد على الدنا" (DdRp) DNA dependent RNA polymerase كما في فايروسات Caulimoviruses.

المسار الثاني: استنساخ ssDNA لتكوين dsDNA القالب و الذي سيسلك سلوك مثيله في المسار الاول، كما في فايروسات Geminiviruses.

المسار الثالث: استنساخ dsRNA و الذي يتم عادة بواسطة " انزيم كوثرة الرنا المعتمد على الرنا" RNA dependent RNA polymerase (RdRp) المشفر من قبل فايروسات Reoviruses.

المسار الرابع: استنساخ الخيط السالب الفايروسي بواسطة الانزيم RdRp الذي تشفره فايروسات Tospoviruses.

المسار الخامس: تضاعف الخيط الرايبي المفرد الموجب ssRNA(+) عبر الخيط السالب القالب بواسطة الانزيم RdRp المشفر بالفايروس و يعمل الخيط الرايبي السالب قالبا للترجمة كما في اغلب فايروسات النبات و منها فايروسات Potyviruses.

المسار السادس: الاستنساخ العكسي Reverse transcriptase للحامض الرايبي مفرد الخيط ssRNA للفايروسات العكسية، مما يؤدي الى انتاج قالب من dsDNA لاستنساخ الرنا المراسل mRNA.

3. مرحلة تجميع الجسيمات الفايروسية

هي المرحلة التي تعقب مرحلة التضاعف و انتاج الذرية و التي يتم فيها ارتباط الجينوم الوليد الجديد مع وحدات بروتين الكابسيد لبناء الجسيمة الكاملة "الفريون" و هي تحدث في مواقع معينة من السايتوبلازم عادة حيث تتكون اجسام بروتينية كثيفة تسمى "الفايروبلازم" Viroplasim و هي نوع من الاجسام الضامة الكبيرة التي يمكن مشاهدتها تحت المجهر الضوئي، و تتباين فايروسات النبات في مواقع و طبيعة تجميعها فمثلا يتم تجميع فايروس الموزائيك الاصفر للشلغم Turnip yellow mosaic virus (TYMV) في حويصلات عنقودية موجودة على اسطح الكلوروبلاست و قد يحصل تجميع بعض الفايروسات في النواة. ان التجميع هي عملية تلقائية تحدث كلما التقى الحامض النووي الفايروسي بالوحدات البروتينية بل وحتى مع الوحدات لنوع فايروسي اخر احيانا و هذا ما يحصل في الاصابات الخليطة حيث تسمى هذه الظاهرة " اعادة الارتباط" و يطلق مصطلح الفايروس المتجانس Homologous virus عند ارتباط الجينوم مع الوحدات البروتينية الخاصة به فيما يطلق مصطلح " الفايروس المتغاير" Heterologous virus عند ارتباط الجينوم مع الوحدات البروتينية لفايروس اخر. بعد انتهاء عملية التجميع تتكون الفايروسات الكاملة. و التي ينقل عدد منها الى الخلايا المجاورة للخلايا المصابة فيما يبقى القسم الاخر من هذه الجسيمات الكاملة الوليدة في

الخلايا المصابة التي نشأت فيها و كأنها جسيمات سابتة مهيأة للنقل الى عائل جديد سواء بالناقلات او بوسائل النقل الاخرى كي تضمن الفايروسات بقائها في البيئة، و بذلك يمكن ان نطلق على هذه الجسيمات مجازا مصطلح " الجراثيم الفايروسية" Virus spores.

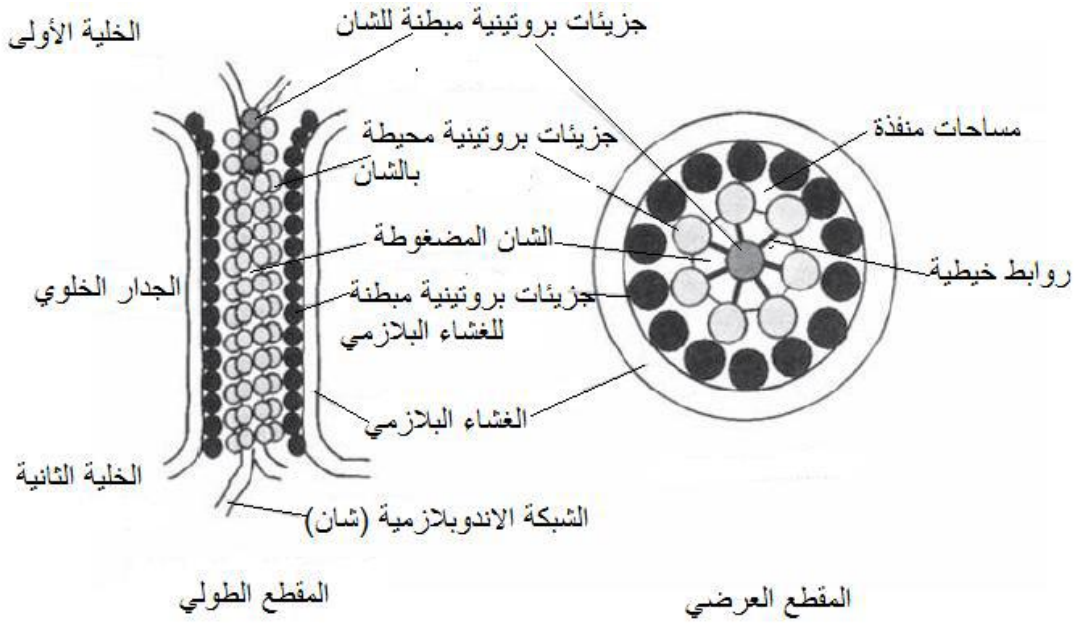
ثالثا: حركة الفايروسات في النباتات

هي المرحلة الثالثة من مرحل الاصابة و التي تعقب مرحلة التضاعف الفايروسي و هي تعد مرحلة اساسية لاكتمال الاصابة الفايروسية فمن دونها لا تكتمل الاصابة حتى لو نجح الفايروس بالتضاعف داخل الخلايا، اظهرت الدراسات المبكرة التي اجريت على حركة الفايروسات في النبات انها تتحرك جهازيا في انسجة اللحاء.

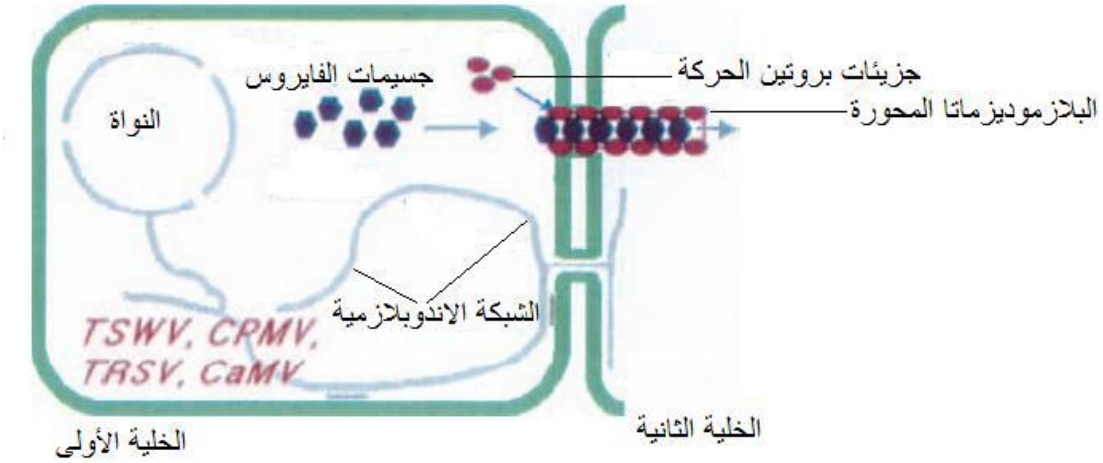
حيث تتحرك الفايروسات التي تصيب النباتات جهازيا اولا عبر الخلايا النباتية ثم الى نسيج اللحاء محمولة مع الغذاء فيما تتحرك قلة من الفايروسات عن طريق اوعية الخشب و يكون اتجاه حركتها اولا نحو الجذور ثم الى الاوراق الحديثة في قمة النبات لتتحرك بعدها نزولا الى بقية اجزاء النبات، وقد ايدت الدراسات التي اجريت باستعمال المجهر الالكتروني وجود الحركتين البطيئة عبر البلازموديزماتا و السريعة خلال اللحاء بمشاهدة الجسيمات الفايروسية، ولكي تكتمل الاصابة الجهازية يتوجب على الفايروس النباتي ان يتحرك اولا حركة بطيئة عبر الخلايا ثم تعقبها حركة سريعة و طويلة عبر الانسجة الناقلة و خاصة اللحاء ثم يعود ثانية الى الحركة البطيئة لإصابة خلايا جديدة و انشاء مواقع اصابة جديدة في النبات.

1. الحركة البطيئة (الحركة بين الخلايا)

تحصل الحركة البطيئة (الحركة بين الخلايا) cell-to-cell movement بتحرك الفايروسات الكاملة او جينوماتها داخل الخلية المصابة في السايتوبلازم و كذلك عبر الاغشية الخلوية بالنسبة للفايروسات المتضاعفة فيه او من النواة الى السايتوبلازم بالنسبة للفايروسات المتضاعفة في النواة و يعتقد ان هذه الحركة تتم بظاهرة الضغط الانتشاري و حركة السايتوبلازم الدورانية و بعد اكتمال تضاعف الفايروس داخل الخلية و امتلائها بالأفراد الجديدة ثم تبدأ هذه الافراد بالحركة من خلية لأخرى عبر الروابط السايتوبلازمية الرابطة بين سايتوبلازم كل خليتين متجاورتين و المسماة " البلازموديزماتا" Plasmodesmata و هي قنوات سايتوبلازمية مبطنة بالاغشية البلازمية تمتد عبر جدران خلايا النبات (شكل2)، لتسهيل الانتشار بين الخلوي للجزيئات الحيوية الخلوية و خاصة البروتينات و الايونات. يبلغ معدل اقطار البلازموديزماتا في النباتات بحدود 3 نانومتر و هو قطر لا يكفي لعبور الجسيمات الفايروسية التي تتراوح معدلات اقطارها بين 10-100 نانومتر، لذلك لابد من حدوث تحوير لها كي تتوسع لتسمح للجسيمات الفايروسية من العبور خلالها حيث تلعب بروتينات الحركة Movement proteins التي تشفرها الفايروسات دورا في تحوير البلازموديزماتا و الارتباط بالجسيمات الفايروسية لتمريرها عبر هذه القنوات.



شكل2: التركيب التشريحي للبلازموديزماتا بالمقطعين الطولي و العرضي، (الرمز "شان" يعني الشبكة الاندوبلازمية).



شكل3: نموذج لحركة اربعة انواع من الفايروسات الايزومترية عبر البلازموديزماتا حيث يتم اقحام تركيب انبوبي قصير مكون من بروتين الحركة في تجويف البلازموديزماتا لغرض توسعته للسماح للجسيمات الفايروسية بالعبور خلالها.

تسبب الحركة البطيئة انتشارا موضعيا للفايروس في النبات اذ لا يتحرك بواسطتها عبر الخلايا لأكثر من 0.2 ملم يوميا كمعدل عام لكل الفايروسات و يعني ذلك ان الفايروس يحتاج الى عدة ايام للانتشار في الورقة النباتية الواحدة و يتحكم في سرعة هذه الحركة مقدار تضاعف الفايروس داخل الخلية و بتناسب طردي فكلما زاد مقدار التضاعف زادت سرعة هذه الحركة.

2. الحركة السريعة (حركة المسافات الطويلة)

هي حركة الفايروسات الى الانسجة و الخلايا البعيدة عن منطقة دخول الفايروس في النبات، و هي الحركة المسؤولة عن نجاح الاصابات الفايروسية الجهازية و تبدأ هذه الحركة بعد نجاح الفايروس في اجتياز عدة خلايا بواسطة الحركة البطيئة ليصل الى اوعية اللحاء في الورقة ثم ينتشر بسرعة في عروقها و يكتمل انتشاره فيها خلال ثلاثة ايام تقريبا و حسب نوع الفايروس و النبات. ثم يبدأ الفايروس بالحركة باتجاه الجذور محمولا مع الغذاء المنقول باللحاء مستغلا الية نقل الغذاء ثم يتجه بعد ذلك الى المناطق العليا من النبات لتكتمل الاصابة الجهازية بعد اسبوعين – ثلاثة اسابيع في معظم النباتات.

لكي يتم الفايروس حركته السريعة في النبات المصاب فانه يحتاج الى:

- اظهار (تشفير) بروتينات الحركة اللازمة لتسهيل الحركة البطيئة.
- تضاعف الفايروس ووصول تركيز جسيماته في منطقة الانتاج الى التركيز الحرج اللازم لضخ الفايروس بشكل كاف الى اللحاء.
- الوقت اللازم للجسيمات الفايروسية للحركة من خلايا البشرة ثم عبر خلايا الميزوفيل و الى الاوعية الناقلة.

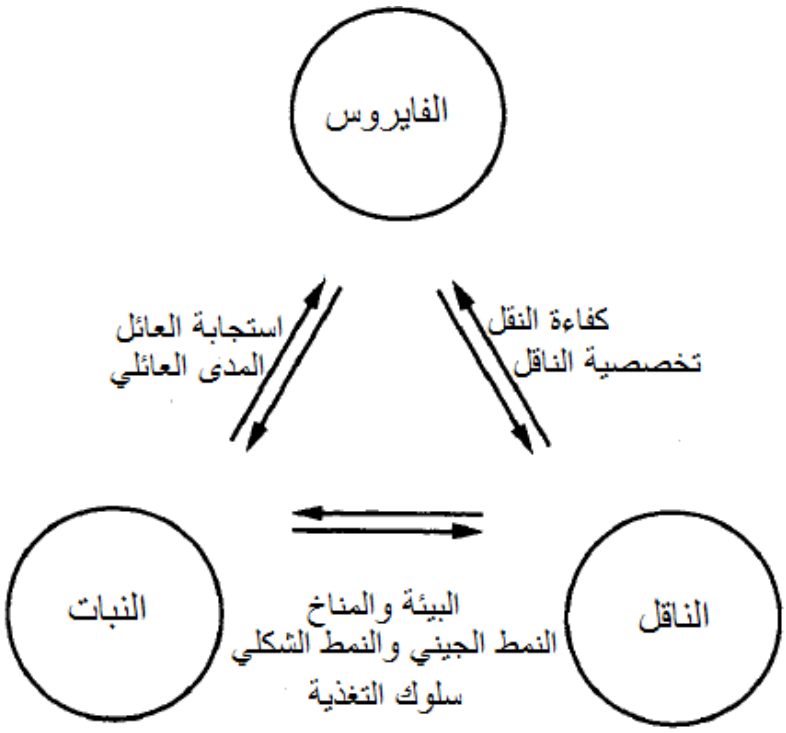
وبائية وبيئية الامراض الفايروسية

يهتم علم **الوبائية** بدراسة حركة الامراض الفايروسية في المحاصيل و طبيعة انتشارها خلال الموسم الزراعي و كذلك وضع الدراسات التنبؤية المتعلقة باحتمالات حدوث الوباء في مجتمع العائل و وضع نماذج توقع حصول المرض الخاصة بكل مرض فايروسي وذلك من خلال برامج حاسوبية. اما **البيئية Ecology** فتهتم بدراسة طرق نقل الفايروسات في البيئة ووسائل بقائها و العوامل البيئية المؤثرة على ذلك و مصادر اللقاح الفايروسي و المدى العوائلي للفايروسات و امراضية الفايروسات و انجذابها للانسجة النباتية، و تتداخل الدراستين الوبائية و البيئية عادة بحكم اعتماد الاولى على معطيات الثانية و هذا ما يوضحه الشكل1، بإظهار عناصر الوبائية الثلاثة و هي " الفايروس" و "الناقل" و "النبات".

يتصف اي فايروس كفء قادر على البقاء في البيئة بالصفات التالية:

1. لديه عائل نباتي من نوع واحد او اكثر يتطفل عليه و يتضاعف فيه.
2. يمتلك وسائل فعالة للنقل و الانتشار و اصابة افراد نباتية جديدة.
3. لديه وسائل بقاء في البيئة و قدرة الانتشار العمودي و الافقي فيها.

تعد الدراسات الوبائية و البيئية من الدراسات المعقدة و المتشعبة بحكم تعقيد عناصرها الثلاثة و تداخلاتها الا انها ضرورية اذا اريد وضع برنامج مكافحة متكامل و ناجح للامراض الفايروسية و فهم طبيعة تلك الامراض.



شكل1: عناصر وبائية الفايروسات و علاقتها مع بيئتها.

عناصر الوبائية

اولا: الفايروس

هو العنصر الاول من عناصر الوبائية و تتطلب دراسته معرفة العوامل التالية:

1. ثباتية الفايروس و تركيزه في النبات

تتباين الفايروسات في درجة ثباتها في البيئة خارج النسيج النباتي و تعد الفايروسات الثابتة المنقولة ميكانيكيا و منها فايروس موزائيك التبغ (TMV) من اكثر الفايروسات قدرة على البقاء في البيئة حيث يبقى في بقايا النباتات المصابة في التربة و التي تصبح مصدرا لاصابة المحاصيل لاحقا كما وجد فعالا في تبغ انواعا عديدة من السكائر.

ان وجود الفايروسات بتركيز عالي في النباتات يعني زيادة قدرتها على البقاء و الانتشار و يظهر ذلك بوضوح مع الفايروسات المنقولة بالناقلات حيث تزداد معدلات النقل بالناقل مع زيادة تركيز الفايروس في النبات.

2. سرعة حركة الفايروس و توزيعه في انسجة النبات

ان الفايروسات التي تتحرك ببطء في انسجة عوائلها انطلاقا من منطقة دخولها هي الاقل قدرة على البقاء و الانتشار الكفء و ترتبط سرعة حركة الفايروسات في النباتات بطبيعة النبات حوليا او معمر، فالفايروسات التي تصيب الشجيرات و الاشجار المعمرة تتحرك فيها ببطء مقارنة بتلك التي تصيب النباتات الحولية، وجد ايضا ان الفايروسات التي تستطيع الوصول الى البذور هي الاقدر على الانتشار و البقاء كما توجد فايروسات مقيدة بانسجة معينة دون غيرها.

3. شدة المرض الفايروسي

وجد ان الفايروسات التي تسبب اعراضا جهازية شديدة و تقتل عوائلها هي الاقل احتمالا للبقاء و الانتشار مقارنة بتلك التي تسبب اعراضا معتدلة او خفيفة لان الاخيرة تسمح للنباتات بالاستمرار و النمو مما يجعلها تتضاعف فيه بكفاءة اعلى و لفترة اطول و لذلك نجد ان السلالات المعتدلة هي التي تسود في المناطق التي تعايشت فيها مع عوائلها منذ الاف السنين اما السلالات الشديدة فانها غالبا ما تظهر نتيجة انتخاب سريع نسبيا لا يسمح بإقامة علاقات مستقرة و متوازنة مع عوائلها.

4. انتخاب السلالة و قدرة الفايروس على التطفير

عموما فانه كلما كان الفايروس اكثر قدرة على التطفير Mutability و انتاج السلالات كلما كان اكثر فاعلية للتكيف مع التغيرات البيئية و بالتالي البقاء و الانتشار و تتباين الفايروسات كثيرا في قدرتها على التطفير فنجد مثلا ان فايروس التفاف اوراق البطاطا(PLRV) ثابت وراثيا و قليل التطفير نسبيا فيما نجد العكس مع فايروسي موزائيك الخيار (CMV) و الذبول المبقع للطماطة (TSWV) الذين لهما الكثير من السلالات.

5. المدى العوائلي للفايروسات

تتباين الفايروسات في مداها العوائلي و هذا فان الفايروسات ذات المدى العوائلي الواسع مثل فايروس موزائيك الخيار الذي يصيب بحدود 1000 نوع نباتي في 85 عائلة نباتية هي الفايروسات الاكبر فرصة للبقاء و الانتشار في البيئة مقارنة بالفايروسات ذات المدى العوائلي الضيق. يعطي تنوع انواع النباتات العائلة للفايروس فرصة اكبر له للبقاء و الانتشار لذا فان الفايروسات التي امتد مداها العوائلي لتشمل الخضروات و نباتات الزينة و الادغال قد اصبحت فايروسات عالمية الانتشار.

يلاحظ ان الامراض الفايروسية نادرة او تصعب ملاحظتها في المجتمعات النباتية المعمرة و المستقرة كالغابات الطبيعية و يعود سبب ذلك الى سيادة السلالات الفايروسية المعتدلة و الضعيفة و اختفاء السلالات الشديدة الا اذا حدث تغير محصولي مفاجئ في هذا المجتمع النباتي المستقر بادخال انواع او اصناف جديدة عند ذلك يكون احتمال ظهور السلالات الشديدة واردا جدا.

6. طبيعة نشر الفايروسات في البيئة

تلعب طبيعة نشر الفايروسات في البيئة دورا مهما في وبائية الفايروسات حيث توجد مرحلتين لهذا النشر و هما: (1) الاصابة الاولية Primary infection وهي الاصابة التي تحصل في بداية الموسم و تحصل بالناقلات المجنحة التي تجلب اللقاح الفايروسي من مصادر خارج الحقل او يكون محمولا في الناقلات التي انشأ معها الفايروس علاقة باقية متضاعفة او يجلب بواسطة البذور او الاجزاء الخضرية التكاثرية المصابة. (2) الاصابة الثانوية Secondary infection و هي التي تحصل بواسطة الناقلات المجنحة غير المقيمة الباحثة عن الغذاء اثناء زيارتها القصيرة للنباتات و التي تنشط محليا بين النباتات و التي تنشر الفايروسات المنقولة بالطريقة غير الباقية و شبه الباقية.

ثانيا: الناقل Vector

هو العنصر الثاني لوبائية الامراض الفايروسية حيث تلعب الناقلات المحمولة بالهواء الدور الاهم في النشر القريب و البعيد للفايروسات و خاصة حشرات المن القادرة على قطع مسافات تصل الى 100 كيلومتر، يعتمد النشر الواسع لحشرات المن بالرياح على اعدادها و فورتها المجتمعية في الربيع المبكر و يعتمد ذلك على الظروف المناخية للشتاء السابق و نوع الاطوار السابتة التي قضى بها المن تشتيته، ففي الشتاء القاسي فان الطور السابت الوحيد للمن هو البيض بينما نجد في الشتاء الدافئ ان اعدادا كبيرة من البالغات تبقى سابتة على الادغال و نباتات الحدائق المحمية و بالتالي ستنتج اعدادا هائلة من الافراد الجديدة بالولادة و التي ستقوم بالهجرة الواسعة عند عدم ملائمة النباتات لها او بسبب الازدحام وقلة الغذاء حيث يبدأ ظهور البالغات المجنحة التي تطير عموديا من النبات عندما يكون الهواء ساكنا تقريبا و درجات الحرارة ملائمة لها لتصل الى ارتفاعات تنشط فيها تيارات الهواء التي تحملها الى مناطق بعيدة.

ثالثا: النبات العائل

هو العنصر الثالث لوبائية الامراض الفايروسية و الذي يؤثر على حركة تلك الامراض من خلال العديد من العوامل و خاصة الوراثية منها و التي تحدد المدى العوائلي للفايروسات و تقبلية او مناعة النباتات للفايروسات حيث يعتمد النشر الوبائي للفايروسات على وجود النباتات الحساسة Susceptible plants و النباتات المتحملة Tolerant plants لأنها تصاب بالفايروسات التي توجد فيها بتركيز عالي مما يوفر كمية كبيرة من اللقاح الفايروسي خلال الموسم، و يعني مصطلح " التحملية" Tolerance قدرة الفرد النباتي الواحد على تحمل الاصابة اما مصطلح " التحملية المجتمعية" Toleremicity فيعني تحمل المجتمع النباتي بأكمله للإصابة.

تؤدي النشاطات الحقلية التي يمارسها المزارعون عند زراعتهم لمحاصيلهم دورا مهما في الانتشار الوبائي لفايروسات النبات و التي تشمل ما يلي:

1. موعد زراعة المحصول
2. الدورة الزراعية
3. زراعة المحصول الواحد
4. كثافة النباتات
5. تاثير البيوت الزجاجية
6. تاثير المشاتل و حقول انتاج الاصول النباتية

العوامل البيئية

هي العنصر الرابع لوبائية فايروسات النبات و التي تؤدي دورا مهما فيها من خلال تأثيرها على العناصر الثلاثة الاولى السابقة و تضم العوامل التالية:

1. الرياح
2. الامطار
3. درجة الحرارة
4. ظروف التربة

الكائنات دون الفايروسية

هي الكائنات الاصغر حجما و تركيبا من الفايروسات و لكنها تماثلها تركيبيا كونها تتكون من احماض نووية عارية او مغلفة بغطاء بروتيني و تشمل هذه الكائنات:

اولا: الفايروسات التابعة Satellite viruses

هي فايروسات ذات جينومات رايبية RNAs مفردة الخيط متطفلة على النباتات و مرتبطة حيويا بفايروسات كاملة معينة تعتمد عليها في تضاعفها تسمى بالفايروسات المساعدة Helper viruses و بالتالي فان الفايروسات التابعة لا تستطيع التضاعف و اكمال دورة الاصابة الخاصة بها في النباتات الا بوجود الفايروسات المساعدة في اصابة خليطة في النبات وذلك لان الفايروسات التابعة تنقصها جينات تشفير انزيمات تضاعفها و لكنها تمتلك جين تشفير غطائها البروتيني بشكل مستقل عن الفايروس المساعد، كما ان التعاقب النيوكليوتيدي لجينوماتها مختلف عن مثيله في جينومات الفايروسات المساعدة لذلك فهي تعتبر فايروسات لها خصوصيتها و استقلاليتها التصنيفية عن الفايروسات المساعدة لها رغم اعتمادها عليها في نشاطات التضاعف و ربما ايضا الحركة في النبات و نقلها بالناقلات لذا فان علاقتها بالفايروس المساعد هي علاقة "التبعية" Satellitism.

يطلق على الفايروسات التابعة تسميات عديدة هي الكائنات التابعة Satellite agents او الكائنات الرايبية RNA agents او التوابع نوع اي A type satellite او الكائنات الرايبية المعتمدة على الفايروس Virus dependent RNA agents.

ان العلاقة بين الفايروسات التابعة و الفايروسات المساعدة هي علاقة معقدة جدا و تكون على المستوى الجيني و قد يكون تاثير الفايروس التابع تنشيطيا للفايروس المساعد الممرض للنبات اي يزيد من شدة اصابته للنبات وذلك نتيجة ما تقدمه من مساعدة للفايروس المساعد في معالجة الدفاعات النباتية و التغلب عليها وقد يحصل العكس حيث يثبط اصابة النبات بالفايروس المساعد و يوهنه و لذلك استعملت الفايروسات التابعة في مقاومة الامراض الفايروسية حيث يعمل الفايروس التابع بمثابة " طفيل جزيئي" Molecular parasite ضد الفايروس الممرض.

سجل وجود اربعة انواع من الفايروسات التابعة مع عدد مماثل من فايروسات النبات المساعد المنتمية لاجناس و عوائل فايروسية مختلفة (جدول1) و الملاحظ ان الفايروسات التابعة ذات جينوم RNA تعتمد على الفايروسات المساعدة ذات الجينوم RNA، ولم يسجل فايروسات تابعة ذات الجينوم DNA كما ان التعاقب النيوكليوتيدي لجينوماتها مختلف عن مثيله في جينومات الفايروسات المساعدة.

جدول 1: انواع الفايروسات التابعة المسجلة.

الفايروس المساعد	الفايروس التابع	قطر الجسيمة (نانومتر)	حجم الرنا (nt)	حجم بروتين الكابسيد
Tobacco necrosis virus (TNV)	Satellite TNV (STNV)	17	1239	21600
Panicum mosaic virus (PMV)	Satellite PMV (SPMV)	16	826	17500
Tobacco mosaic virus (TMV)	Satellite TMV (STMV)	17	1059	17500
Maize white line mosaic virus (MWLMV)	Satellite MWLMV (SMWLMV)	17	1168	23961

ثانيا: التوابع الرايبية Satellite RNAs

تسمى اختصارا Sat RNA هي احماض نووية اضافية مرتبطة بالجينوم الفايروسي لعدد من انواع الفايروسات المساعدة و لكن لها استقلاليتها النسبية عنها و تختلف عن الفايروسات التابعة بانها تعتمد على الفايروسات المساعدة في تضاعفها و انها تعبأ معها في نفس كابسيد الفايروس المساعد اي ليس لها غطائها البروتيني الخاص و لكنها تشترك مع الفايروسات التابعة في اربع صفات رئيسية مهمة هي:

1. جينوماتها عبارة عن جزيئية حامض نووي صغير الحجم و لكنه ليس جزءا من جينوم الفايروسات المساعدة رغم تماثل طفيف في التعاقب النيوكليوتيدي بينها.
2. تعتمد في تضاعف جينوماتها على الفايروسات المساعدة.
3. تتضاعف بواسطة قالبها الخاص لحامضها النووي المستقل عن قالب الفايروس المساعد.
4. تسبب اعراضها الخاصة على النباتات او على الاقل في بعض انواع النباتات العائلة، لوحظ ان التوابع الرايبيه ذات جينوم الرنا ترتبط فقط مع الفايروسات المساعدة ذات جينوم الرنا ايضا و لم يسجل ارتباطها مع الفايروسات المساعدة ذات جينوم الدنا و كذلك الحال مع التوابع الرايبية ذات جينوم الدنا فأنها لا ترتبط الا مع الفايروسات المساعدة المماثلة لها في نوع الجينوم.

ثالثا: الفايرويدات Viroids

هي كائنات رايبية حلقية احادية الخيط RNAs مستقلة عارية بدون غطاء بروتيني و هي متطفلات نباتية و تعد اصغر الكائنات الممرضة للنبات، ولم يسجل تطفلها على اي مجموعة من الكائنات الحية باستثناء النباتات الراقية و اكتشفت لاول مرة من قبل Diener (1971) عند دراسته لمرض الدرنة المغزلية للبطاطا و يصل حجم جينومها الى عدة مئات من النيوكليوتيدات مع وجود تركيب ثانوي عالي التنظيم، و الجينوم الفايرويدي قادر على التضاعف بشكل مستقل و لكنه لا يشفر اية بروتينات، و الفايرويدات ممرضات نباتية مهمة بسبب ما تحدثه من امراض نباتية مؤثرة على الانتاج النباتي و خصوصا في اشجار الفاكهة و البطاطا و اكثر الفايروسات دراسة هو فايرويد الدرنة المغزلية للبطاطا Potato spindle tuber viroid, PSTVd

اما تسمية الفايرويدات فقد تمت بالطريقة ذاتها المستعملة مع الفايروسات اي استعمال الاسم الانكليزي الشائع و اعتباره الاسم العلمي مع استعمال الاسم المختصر المكون من الاحرف الاولى الاستهلالية لاسم الفايرويد مع اضافة الحرف d في نهاية الاسم المختصر للدلالة على الفايرويد و تمييزا له عن الفايروس مثال ذلك فايرويد الدرنة المغزلية للبطاطا Potato spindle tuber viroid و مختصره PSTVd.

طرق نقل الفايرويدات

تنتقل الفايرويدات ميكانيكيا بسهولة الى معظم عوائها النباتية ويتم ذلك بواسطة تلوث الادوات الزراعية و الملاحظ ان هذا النقل يحصل بكفاءة رغم وجود انزيم النيوكلييز النباتي و الذي يكون شديد التاثير عليها و لكنها تتجنب تأثيره المتلف للاحماض النووية بسبب امتلاك جينوماتها للتركيب الثانوي الجينومي الذي يمنحها مقاومة لتاثير الانزيم كما ان لديه الية اخرى لذات الغرض هي ارتباطها المعقد مع انواع من البروتينات النباتية عند حركتها في النبات مما يحميها من تاثير هذا الانزيم غير المؤثر على البروتينات. سجل نقل فايرويد الدرنة المغزلية للبطاطا (PSTVd) بحبوب لقاح البطاطا و بذورها الا ان هذه الطريقة لا تلعب دورا في نقل هذا الفايرويد في الحقول لان الطريقة الاكثار المتبعة لهذا النبات هي بواسطة الدرنات، كما سجل ايضا نقل فايرويدات الطماطة و العنب ببذور و حبوب لقاح هذين النباتين، و سجل ايضا نقل فايرويد الدرنة المغزلية للبطاطا بنوع من المن و بالطريقة غير الباقية و ان كفاءة النقل وصلت 100% . و تنتقل الفايرويدات ايضا بطريقة الاكثار الخضري و هي الطريقة المسؤولة عن النشر الوبائي للعديد من الفايرويدات و خاصة فايرويد الدرنة المغزلية للبطاطا في محصول البطاطا و فايرويد تقزم الداوودي في نباتات الداوودي، فيما يعد النقل الميكانيكي الوسيلة الاساسية للنشر الوبائي لفايرويد تقزم الخشخاش في نباتات الخشخاش.

انواع الاصابات الفايروسية

تصنف الاصابات الفايروسية الى الانواع التالية:

1. الاصابات الموضعية Local infection

هي التي يتموضع فيها الفايروس في جزء صغير من النسيج النباتي و يشمل ذلك عددا محدودا من الخلايا النباتية التي تحيط بمنطقة دخول الفايروس الى النبات. وبالتالي فانه لا يتمكن من الانتشار جهازيا في النبات و التقدم باتجاه انسجة جديدة، لذلك فان هذه الاصابات تعد نوعا من المقاومة التي يظهرها النبات اتجاه الفايروس و ان ظهورها مرتبط بنوع النبات و الفايروس و العلاقة الوراثية بينهما. ان الاصابات الموضعية هي قليلة الظهور طبيعيا وليس لها اهمية اقتصادية لانها قليلة التاثير على النباتات الا انها ذات فوائد علمية في دراسة تقدير تركيز الفايروسات في عوائلها وفي عزل السلالات الفايروسية و تشخيص الفايروسات.

2. الاصابات الجهازية Systemic infections

هي الاكثر شيوعا و خطورة على النباتات و التي تصاحب معظم الاصابات الفايروسية و تسبب خسائر كبيرة في الانتاج الزراعي. و تعني الاصابة الجهازية انتشار الفايروس النباتي في الانسجة الحساسة له و تقدمه في خلايا ذلك النسيج او الانسجة سواء عبر الخلايا او في الاوعية الناقلة و خاصة اللحاء لينتشر في معظم اجزاء النبات حسب الانسجة المتخصص عليها، و قد تتحدد الاصابة الجهازية التي تسببها بعض الفايروسات في منطقة معينة من النبات و لا تشمل كل اجزاؤه كما في حالة الاصابة بفايروس موت التبغ الذي ينتشر جهازيا في الجذور فقط ولكنه قد يصبح جازيا املا لكل النبات مع عوائل اخرى.

3. الاصابات الكامنة Latent infections

هي نوع من الاصابات الجهازية التي تصاحب الاصابة ببعض الفايروسات و التي يطلق عليها "الفايروسات الكامنة او غير الفعالة" و تمتاز هذه الاصابات بعدم ظهور اية اعراض خارجية على النبات المصاب رغم وجود الفايروس بتركيز عالي في انسجته و هي حالة تظهر بالتوافق بين نوع الفايروس و نوع العائل حيث لا تظهر اعراض الفايروس الكامن على النوع النباتي المعين طيلة حياته و لكن اذا تغير نوع العائل تصبح تلك الاعراض ظاهرة عليه فان هذه الاصابات تمثل علاقة وراثية معقدة بين الفايروس و النبات و هي لا تتاثر بالظروف البيئية. يحصل احيانا مع بعض الفايروسات ان تكون الاصابة ظاهرة في بدايتها ثم تتحول الى كامنة لتبقى هكذا طيلة حياة النبات.

تعد الاصابات الكامنة خطرة اقتصاديا لانها (1) تسبب خفض في الانتاج الزراعي رغم عدم ظهور الاعراض على النباتات المصابة (2) تشكل النباتات المصابة و بسبب عدم ظهور الاعراض بؤرة لانتشار الفايروس الكامن الى افراد نباتية جديدة لنفس النوع او الى انواع نباتية اخرى تصبح فيها الاصابة ظاهرة حيث انها لا تثير انتباه المزارعين فلا تقلع من الحقول اثناء التفتيش الحقلي، و هناك العديد من

الفايروسات التي ارتبط اسمها بهذه الاصابات ومنها فايروس القرنفل الكامن (CLV).

4. الاصابات المختفية Masked infections

تتشابه الاصابات المختفية مع الاصابات الكامنة في كل الصفات باستثناء تأثرها بالظروف البيئية و تحديدا عاملي الحرارة و الضوء حيث تكون الاعراض مختفية تماما على النبات المصاب في ظل ظروف حرارة و ضوء معينة ولكن عند تغير درجة الحرارة و شدة الضوء في الحقل تصبح تلك الاعراض ظاهرة على نفس النبات.

5. الاصابات الخليطة Mixed ifections

هي اصابة النبات الفرد باكثر من نوع فايروسي او باكثر من سلالة في وقت واحد وبذلك تتداخل الاصابات التي يسببها كل نوع او سلالة و تتنوع الاعراض الجهازية التي تظهر على النبات المصاب و يظهر ذلك التداخل باحدى الحالات التالية:

أ. حالة الحياد Neutralization التي تصاحب الاصابة بالانواع الفايروسية المتباعدة القرابة و لا تظهر في حالة الاصابة الخليطة بسلالات النوع الفايروسي الواحد حيث يعمل كل نوع فايروسي بشكل مستقل عن الاخر في النبات وبذلك فان كل منها سيعطي اعراضه الخاصة به على النبات من دون تاثير على الاعراض التي يسببها الفايروس الاخر.

ب. حالة التضاد Antagonism وهي التي يطلق عليها " المقاومة المتبادلة" Cross protection او التداخل Interference وهي الحالة التي تحصل عند الاصابة الخليطة بسلالات النوع الفايروسي الواحد حيث تعمل السلالة الاولى على تثبيط الاصابة التي تسببها السلالة اللاحقة، وقد تظهر هذه الحالة بين الفايروسات الوثيقة القرابة و لا تظهر بين الفايروسات المتباعدة القرابة، ووظفت هذه الظاهرة في مقاومة فايروسات النبات تطبيقيا وذلك بتلقيح النبات المراد حمايته بالسلالة الضعيفة للفايروس فيكتسب النبات مناعة ضد السلالة القوية، لذلك يطلق على هذه الظاهرة ايضا مصطلح " المقاومة المكتسبة" Acquired resistance او المناعة المكتسبة Acquired immunity.

ت. حالة التنشيط Synergism

هي الحالة التي ينشط فيها كل من الفايروسين المشتركين في الاصابة الخليطة للنبات الفرد العائل Co-infection virus احدهما الاخر وبذلك سيكون التاثير المرضي شديدا جدا على النبات لانهما يتفاعلان معا لاعطاء اعراض اكثر خطورة من الاعراض التي يسببها كل فايروس منهما على انفراد، تظهر هذه الحالة عادة مع الفايروسات المتباعدة القرابة حيث يساعد احدهما الاخر اما في حالة التضاعف او في الانتشار او في كليهما.

الاعراض المشابهة للاعراض الفايروسية

تسبب العديد من انواع الطفيليات و العوامل غير الحية الممرضة للنبات اعراضا تماثل الى حد كبير بعض انواع الاعراض الفايروسية مما يربك تشخيص الاصابات الفايروسية

ادارة الامراض الفايروسية

تختلف استراتيجيات ادارة الامراض الفايروسية عن الامراض الي تسببها الطفيليات الاخرى و خاصة الفطريات و النيماتودا و البكتريا اذ تستند على استراتيجية الوقاية اكثر من استراتيجية العلاج، حيث ان طريقة تطفل الفايروس و ارتباط تضاعفه بالية تخليق البروتين الخلوي و عدم امتلاك الفايروس لأليات ايضية يمكن مهاجمتها جعل من الصعب جدا استعمال الكيمياويات(المبيدات) في وقاية الزراعة من الامراض الفايروسية، و في علاجها بعد الاصابة و لم يطرح في الاسواق و لحد الان اي مبيد فايروسي رغم وجود الكثير من الكيمياويات الطبيعية و الصناعية التي اثبتت نجاحا في اتلاف الفايروسات او تثبيط الاصابة الفايروسية على المستوى المختبري او الحقلي البسيط لذلك فقد زاد الاهتمام باستراتيجية الوقاية التي توظف اجراءات منع حصول الاصابة الفايروسية باستبعاد الفايروسات و ابادتها و مكافحة الناقلات لتقييد نشر الفايروسات و استحداث المقاومة الوراثية للفايروسات في النباتات العائلة (Host)، و استعمال اصناف مقاومة و يمكن لهذه الاجراءات الحد من انتشار الامراض الفايروسية و تقليل ضررها الاقتصادي اذا ما استعملت بشكل حزمة واحدة و بشكل تكاملي اي ضمن مفهوم المكافحة المتكاملة Integrated control و هو المفهوم المرادف لادارة المرض Disease management.

استراتيجية الوقاية من الامراض الفايروسية.

تنفذ هذه الاستراتيجية بالاجراءات التالية:

1. استبعاد الفايروسات و ابادتها

تعتمد هذه الاجراءات على استبعاد اللقاح الفايروسي و منعه من الوصول الى النباتات او ابادته و هو في مصادره الاساسية اي في مناطق بقائه و يتم ذلك بالطرق التالية:

أ. ابادة العوائل الحية للفايروسات

يشمل ذلك ابادة كل النباتات الحية المصابة التي تعد مصادر للفايروسات و تشمل:

1. الادغال المعمرة و الحولية العائلة للفايروسات و التي تنقل ببذورها و التي تضمن ادامة وجود الفايروسات في الحقول سنويا. فقد وجد ان دغل الرغيلة يحمل طبيعيا فايروسي موزائيك الخس (LMV) و موزائيك البنجر (BtMV) و بالتالي يشكل مصدرا طبيعيا لبقاء هذين الفايروسين في حقول هذين المحصولين.
2. نباتات الزينة و خاصة المعمرة حيث انها غالبا ما تظهر اعراض خفيفة لا تثير الانتباه مثال ذلك اصابة الكلاديولس بفايروس الموزائيك الاصفر للفاصوليا (BYMV) مما يجعلها مصدرا مستمرا لاصابة المحاصيل البقولية بهذا الفايروس.
3. النباتات التلقائية: و هي نباتات المحصول الاقتصادي التي تنبت في الحقول في السنة التالية لحصاده نتيجة ترك بعض بقايا المحصول فيها كما هو الحال في البطاطا و البنجر السكري.
4. افراد النبات الاقتصادي المزروع المصاب و الذي يعد مصادر عدوى لبقية افراد المحصول السليمة لذا يجب ازالتها من الحقل و اعدامها بواسطة برنامج فحص و قلع

دوري اسبوعي، بهدف ازالة اللقاح الفايروسي من الحقل و منع حدوث الاصابات الثانوية.

ان ازالة مصادر العدوى سيقلل كثيرا من اللقاح الفايروسي في الحقول و يقلل نسبة حدوث الاصابة الاولية و لكن من الصعب تحقيق ذلك عمليا و ابادة كل الادغال الموجودة في الحقول و خاصة تلك المجاورة للبساتين و المزارع الخاصة التي تزرع فيها اسيجة نباتية و نباتات زينة معمرة، كذلك فان فاعلية هذا الاجراء تعتمد على طبيعة المدى العائلي للفايروس حيث لا يعد هذا الاجراء فعالا الا عندما يكون المدى العائلي للفايروس المعني ضيقا و بالتالي تسهل ازالة العوائل البديلة للفايروس الا انه غير مجدي مع الفايروسات واسعة المدى العائلي مثل فايروسي موزائيك الخيار (CMV) و الذبول المبقع للطماطة (TSWV).

TSWV	CMV

ب. استعمال بذور خالية من الفايروسات

يعد من الاجراءات الهامة الذي يمنع ظهور الاصابات الاولية في بداية زراعة المحصول و تزداد فاعليته عند زراعة المحصول في مناطق معزولة لا تزرع فيها محاصيل تشترك مع المحصول المعني بذات الفايروسات، و بعكس ذلك يصبح اجراء غير مجدي اذا زرعت هذه البذور في مناطق زراعية موبوءة بالفايروس المعني و هذا ما نجده في المناطق التي تزرع فيها الخضروات بكثافة طيلة السنة.

ت. استعمال اجزاء خضرية تكاثرية خالية من الفايروسات

ث. اجراءات تعقيم الايدي و الادوات الزراعية

هي اجراءات مفيدة للتخلص من الفايروسات الثابتة التي تستوطن البيوت الزجاجية و البلاستيكية و التي تنقل عن طريق التلوث الميكانيكي الناتج من تداول الشتلات و رعاية النباتات و من هذه الاجراءات غسل الايدي لعدة مرات بالماء و الصابون كذلك غسل الملابس الملوثة بالماء الساخن و مساحيق الغسيل و تعقيم الادوات الزراعية بمحلول هايبو كلورات الصوديوم.

ج. الاجراءات الزراعية

توجد العديد من الاجراءات الزراعية التي تعطي نتائج جيدة في الحد من انتشار الفايروسات في حقول الخضروات و المحاصيل الحقلية خاصة و هي (الدورات الزراعية، تغيير مواعيد الزراعة، مسافات الزراعة، الزراعة المعزولة، الحجر الزراعي، ازالة بقايا النباتات المصابة).

2. تجنب و مكافحة الناقلات

تعد هذه الاجراءات فعالة جدا في الحد من انتشار الفايروسات وخاصة خلال الموسم الزراعي و تشمل:

أ. المكافحة الكيميائية

من الشائع استعمال المبيدات لمكافحة الحشرات حيث تتوفر في الاسواق انواعا كثيرة و مختلفة من المبيدات الحشرية. الا ان مكافحة الحشرات الناقلة للفايروسات كيميائيا بهدف منع و خفض الاصابات الفايروسية ليس مضمونا دائما و يواجه عقبات عديدة في ظل حقيقة ان بعض الفايروسات لا تحتاج الا لعدد قليل من افراد الحشرات الناقلة لغرض نقلها، حيث ان وجود عدد قليل من الافراد المجنحة يكون كافيا لنقل فايروس معين لمحصول ما و ان اي مبيد لن يقضي تماما على مجتمع الحشرة الناقلة و رغم ذلك يبقى استعمال المبيدات احد الاجراءات الفعالة مع العديد من الفايروسات.

ب. استعمال الحواجز النباتية و المواد الطاردة

استعملت الحواجز النباتية بنجاح لمكافحة الفايروسات غير الباقية التي تصيب الخضروات و المنقولة بالمن و منع نشرها في الحقل و هذه الحواجز عي نباتات تزرع حول حقل المحصول المراد حمايته و يجب ان تكون مفضلة لدى الحشرات و لا تشترك مه المحصول في الفايروسات المتطفلة، اي منيعة لتلك الفايروسات و ان تكون حولية سريعة النمو و اطول من المحصول الرئيسي لذلك فان افضل الحواجز النباتية استعمالا هي الذرة الصفراء و زهرة الشمس، و يفسر تاثير الحواجز النباتية في خفض نسبة الاصابة الاصابة بالفايروسات بانها تصد الحشرات الهابطة على المحصول الرئيسي التي تستقر عليه و تتغذى و تفرغ جرعتها من الفايروس الموجود بداخلها و بالتالي فعند انتقال هذه الحشرة الى المحصول الرئيسي التي تستقر عليه تكون خالية من الفايروس. استعملت هذه الطريقة في المثنى في الحد من انتشار الفايروسات التي تصيب محاصيل الفلفل و القرعيات و الطماطة باستعمال الذرة الصفراء و زهرة الشمس كنباتات حاجزة.

نبات الذرة الصفراء

نبات زهرة الشمس

ت. النباتات المقاومة للناقلات

ازداد الاهتمام بانتاج نباتات مقاومة للناقلات بديلا لاستعمال المبيدات لخفض معدلات انتشار الفايروسات و توجه ذلك نحو نوعين من الاصناف المقاومة و هما (1. انتاج اصناف لا يفضلها الناقل 2. انتاج اصناف ذات تاثير تضادي حيوي على الحشرات حيث تمتلك هذه الاصناف شعيرات غدية تفرز مواد دبقة طاردة للحشرات).

ث. المكافحة بالمفترسات و الطفيليات

3. زراعة الاصناف المقاومة للفايروس

تعد الاصناف المقاومة للفايروس من الطرائق الواعدة في مقاومة الفايروسات و لذلك حاول العاملون في تربية النبات، البحث عن جينات مقاومة لاستنباط اصناف مقاومة للفايروسات و هناك مصدرين وراثيين للحصول على جينات المقاومة و هي الجينات الطبيعية و الجينات الدخيلة او المعدلة.

4. المواد الكيميائية المضادة للفايروس Antivirus

هي مواد مثبطة لتضاعف الفايروس و التي يمكن استعمالها في تثبيط الفايروس داخل النبات لذا فهي تعد طريقة وقاية مباشرة للنبات عند تطبيقها ضد العدوى الفايروسية و هنالك بعض الصعوبات التي تواجه تطبيق او ايجاد مثل هذه المركبات المضادة للفايروس و تشمل:

أ. يجب ان تثبط الفايروس عند الاصابة و تمنع تضاعفه داخل النبات دون ان تحدث ضررا على خلايا النبات و تعد هذه الميزة من المشاكل المستعصية لان لفايروسات تتضاعف داخل الخلايا النباتية و تستخدم محتويات الخلية في تضاعفها مما يؤدي الى زيادة احتمال الاضرار بالنبات عند استعمال مواد ضد الفايروس.

ب. يجب ان تكون هذه المركبات ذات تاثير جهازي وذلك لتكون فاعلة في تثبيط الفايروس عند دخوله النبات بواسطة نواقله.

ت. مدة بقاء المركب و قدرته على الاحتفاظ بفاعليته داخل النبات، يجب ان تكون مقبولة وذلك لان المعاملة المتكررة بالمضاد الفايروسي قد تكون غير عملية او قد تؤدي الى حدوث تاثير سلبي على النبات عند تكرار المعاملة بالمضاد الفايروسي.

ث. يجب ان تكون كلفة انتاج المادة واطئة عند تصنيعها على المستوى التجاري و خاصة عند معاملة المحاصيل على نطاق واسع. و يمكن استثناء الكلفة الواطئة للمركب الكيميائي عند استعماله بكميات قليلة و على نطاق ضيق مثل مكافحة الفايروسات داخل البيوت الزجاجية و خاصة لنباتات الزينة.

ج. يجب ان لا تكون مؤثرة على الانسان و ان تكون مطابقة لضوابط الصحة العامة.