

VESZPRÉMI EGYETEM

GEORGIKON MEZŐGAZDASÁGTUDOMÁNYI KAR
KESZTHELY

Növénykórtani és Növényvirológiai Tanszék

A NÖVÉNYKÓRTAN ALAPJAI

KARI JEGYZET

Szerkesztette:

Dr. FISCHL GÉZA

Keszthely, 2003

Tartalom

	Oldal
1. ELŐSZÓ (Fischl G.)	5
2. BEVEZETÉS (Gáborjányi R.)	6
3. A NÖVÉNYKÓRTAN TÖRTÉNETE (Gáborjányi R.)	7
4. KÓROKTAN (Gáborjányi R.)	10
4.1. Genetikai és élettani betegségek	10
4.2. Abiotikus stresszek	11
4.3. Virágos elősködők	11
4.4. Fertőző mikroorganizmusok	12
4.4.1. Vírusok, viroidok, fitoplazmák (Gáborjányi R., Horváth J. és Kazinczi G.)	13
4.4.2. Növénykórokozó baktériumok (Pintér Cs.)	26
4.4.3. Növénykórokozó gombák (Fischl G., Kadlicskó S.)	30
5. TÜNETTAN ÉS DIAGNOSZTIKA (Pintér Cs. és Takács A.)	48
6. KÓRÉLETTAN ÉS A REZISZTENCIA (Gáborjányi R.)	56
6.1. Fogékonyság és rezisztencia	56
6.2. A kórokozó bejutása és megtelepedése	58
6.3. Anyagszervi változások a fertőzött növényekben	61
6.4. A rezisztencia mechanizmusa	62
7. NÖVÉNYKÓROKOZÓK ÖKOLÓGIÁJA ÉS JÁRVÁNYTANA (Fischl G.)	65
7.1. Növénykórokozók ökológiája	65
7.2. Növénybetegségek járványtana	71
8. ELŐREJELZÉS (Kadlicskó S.)	78
9. VÉDEKEZÉSTAN (Pintér Cs.)	82
10. RÉSZLETES NÖVÉNYKÓRTAN	87
10.1. Szántóföldi növények betegségei (Fischl G.)	87
A búza betegségei	87
A kukorica betegségei	91
A napraforgó betegségei	94
A cukorrépa betegségei	97
A burgonya betegségei	100
A lucerna betegségei	105

10.2. Zöldségnövények betegségei (Kadlicskó S.)	107
A paprika betegségei	107
A paradicsom betegségei	111
A hagyma betegségei	114
Az uborka betegségei	116
A saláta betegségei	118
10.3. Gyümölcsstermő növények betegségei (Pintér Cs.)	120
Az alma betegségei	122
Az őszibarack betegségei	124
A meggy- és cseresznye betegségei	125
A szilva betegségei	127
A szőlő betegségei	131
11. FONTOSABB SZAKKIFEJEZÉSEK (Fischl G.)	138
12. AJÁNLOTT IRODALOM	

1.4.1. Növényvírusok, viroidok, fitoplazmák

A mai névvel vírusoknak tekintett mikroorganizmusok kezdettől fogva olyan betegségek kórokozói voltak, amelyeket a Koch-féle posztulátumok alapján nem lehetett jellemezni, tekintettel arra, hogy *in vitro* tiszta tenyészeteket nem lehetett előállítani ezekből a csak élő szervezeteket parazitáló (obligát parazita, biotróf) kórokozókból. A virológia százéves története kezdetén sorra leírásra kerültek a növények legfontosabb kórokozói, tisztázódtak a vírusátvitel módjai és a járványok kialakulásának feltételei.

A vírusok fogalma felfedezésüktől a mai napig sokat változott. A tulipán szintörése, az első megfigyelt vírusbetegség (Carolus Clusius, 1576), még szenzációnak számított. Más vírusok vizsgálatát a betegségek fellépésének parancsoló szüksége indította meg. A Koch-féle posztulátumok általános térhódításával a XIX. század végére egyre több olyan baktériumos vagy gombás betegséget ismertek fel, amelynek kórokozóját sikerrel azonosították. Némely betegség kiváltó oka azonban tisztázatlan maradt a kórokozó *in vitro* tenyésztésének hiánya miatt. Ilyen volt a dohány mozaikbetegsége is. Mayer (1883) nevéhez fűződik az a megállapítás, amely szerint a dohány mozaikbetegsége a fertőzött növény nedvével terjed. Iwanovski (Ivanovszkij) 1892-ben arról számolt be, hogy a beteg növény szövetnedvé a baktériumszűrőn áthatolva is megőrizte fertőzőképességét. Beijerinck, Iwanovski kísérleteit megismételve, arra a következtetésre jutott, hogy a kórokozó alapvetően különbözik a baktériumoktól, valamilyen folyékony ragályanyag (*contagium vivum fluidum*), illetve mérge (*virus vivante fluide*). Ebből az alapvetően helytelen névből (vírus = mérge, toxin) származik a kórokozócsoport ma is használatos megjelölése. Jelenleg a vírusokat nemzetközi megállapodás alapján a fő gazdanövényen okozott tünete alapján, angol nyelven nevezzük el, (pl. dohány mozaik vírus = *Tobacco mosaic virus*, TMV).

A vírusok kémiai szerkezetének tanulmányozására Stanley (1935) nevéhez fűződik, aki a TMV-t kristályosította és bizonyította annak fehérje természetét. Egy évvel később Bawden és Pirie (1936) közzétették, hogy a vírusok nemcsak fehérjéből állnak, hanem nukleoproteid természetűek. A parakristályos, magas tisztasági fokú TMV módot adott az első kristályszerkezet-vizsgálatokra (Bernal és Faukuchen 1937). A végső áttörés az elektronmikroszkóp feltalálásával és alkalmazásával kapcsolatos. Kausche és munkatársai (1939), valamint Tsugita és munkatársai (1939) elkészítették a TMV első elektronmikroszkópos képeit, tehát a vírusok exakt módszerekkel tanulmányozható objektumokká váltak.

A tisztított vírus parakristályok röntgendiffrakciós vizsgálata során Crick és Watson (1956) megállapították, hogy a vírusok köpenyfehérjei identikus fehérje alegységekből tevődnek össze. A TMV esetében ez úgy képzelhető el, mint egy kukoricacsővön a szemek: a szemeknek megfelelő protein alegységek spirális alakban rendezettek, míg a ribonukleinsav (RNS) a cső belsejében védve van. A gömbhöz hasonló, ún. izometrikus vírusok felépítésére a kristálytan szabályai érvényesek. Ez esetben a szabályos rendszerű kristályrács rácspontjaiban szimmetrikusan helyezkednek el a fehérje alegységek vagy ezek csoportjai, a nukleinsav a kristályszerkezet belsejében védett marad. Fraenkel-Conrat és Williams (1955), valamint Gierer és Schramm (1956) bizonyították be, hogy a vírusokban található összes információ a nukleinsavban van. A Crick és Watson (1952) által kidolgozott TMV-modell forradalmasította a virológiát, de a biológia tudományát is.

A vírus és a virion fogalma

A vírusok fertőző nukleoproteidek, ami azt jelenti, hogy fertőző genetikai információt foglalnak magukban. A fertőző jelleg arra a képességre utal, hogy a vírusok járványszerű betegségek kialakítására képesek, míg a genetikai információ a köpenyfehérjével burkolt nukleinsavat jelenti, amely a fertőzött sejtekben új vírusfehérje és nukleinsav képzése formájában nyilvánul meg. Régebbi definíció szerint a vírusok szubmikroszkópikus nagyságrendű, önálló anyagcsere nélküli feltétlen (obligát) paraziták, amelyek csak élő sejtekben képesek önreprodukcóra, kémiai szerkezetüket tekintve pedig nukleoproteidek. Ez a meghatározás kissé körülményes, és nem is igen pontos. A nyugalomban levő, fehérjeburokkal borított, szabályos szerkezetet mutató vírusokat **virionoknak** nevezzük. Ezekből a sejtekben replikálódó nukleinsavat **vegetatív vírusként** különböztetjük meg. A fertőzőképességért, a nukleinsav megsokszorozódásáért és a vírus szintéziséért a nukleinsav felelős. A teljes nukleinsav (genom) lehet DNS vagy RNS. A növénypatogén vírusok túlnyomó többsége RNS jellegű, a nukleinsav pozitív szálú.

A vírusok alakja és felépítése

Az elektronmikroszkópos képek alapján a virionok két fő alaptípusát különböztethetjük meg. Az első csoportba a hosszúkás, merev pálcika vagy hajlékony, fonál alakú virionok tartoznak, ahol a köpenyfehérje-alegységek csigavonal (helix) formájában helyezkednek el. Ezek a **helikális vírusok**. Típusos képviselőjük a dohány mozaik vírus. A TMV-RNS egykomponensű, azaz a genom egyetlen pozitív szálból áll, ami csavarvonal szerint helyezkedik el, 2×10^6 dalton molekulatömegű, és összesen 6395 nukleotidból áll. A tulajdonságokért a nukleotidok sorrendje felelős. A nukleinsavnak már egyetlen báziscseréje a biológiai tulajdonságok lényeges változásait eredményezheti. A TMV teljes nukleinsavsorrendjét 1982-ben állapították meg. A nukleinsavláncon szabályszerű elrendeződésben foglalnak helyet a köpenyfehérje (*coat protein*, CP) szabálytalan alakú, de egyforma alegységei. Egy viriont 2130 CP alegység vesz körül úgy, hogy kívülről és belülről is védje a nukleinsavat a káros környezeti hatásoktól. A CP alegységek molekulatömege $17,6 \times 10^3$, s minden alegység azonos sorrendben 158 aminosavból áll. A virion pálcika alakú, merev, átlag 300 nm hosszú, 18 nm vastag, belül üreges cső.

A növénypatogén vírusok másik fő csoportját a közel gömb alakú, **izometrikus** virionok alkotják, típus-képviselőjük a karfiol mozaik vírus (*Cauliflower mosaic virus*, CaMV). A CaMV mozaik vírus izometrikus felépítésű virionjai kb. 50 nm átmérőjű poliéderez kristályoknak felelnek meg. A virion 17% nukleinsavat tartalmaz, a nukleinsav kettősszálú DNS. A DNS-láncot mintegy 8000 bázispár alkotja. A köpenyfehérje kialakításában egy köpenyfehérje alegységtípus vesz részt, amelynek molekulatömege 42×10^3 . A nukleinsav a köpenyfehérje-kagyló (shell) belsejében felcsavarodva foglal helyet. A köpenyfehérje-alegységek geometriai formába rendeződve kapszomer egységeket alkotnak.

Egyes vírusok baktérium, vagy láncfűzér alakúak, felépítésükben azonban ezek is a két alapvető típust követik. A virionok egy csekély részének külső lipoproteid vagy glükoproteid burka van (*Rhabdoviridae*, *Tospoviridae*). Ezek a vírusok részben az állat- és humánpatogén vírusokkal mutatnak rokonságot. A többi növénypatogén vírusnak külső burka nincs.

A vírusnukleinsavak elsődleges, másodlagos és térbeni elrendeződése

A növényvírusok nukleinsava (genomja) RNS vagy DNS, ezek vagy egy-, vagy kétszálú formában tartalmazzák a genetikai információt. A nukleinsav molekulatömege 10^3 dalton nagyságrendű. Az információ az elsődleges szerkezettől, azaz a nukleotidok egymás utáni sorrendjétől függ, amely szigorúan meghatározott. Akár egyetlen nukleotid természetes vagy mesterséges megváltozása már a tulajdonságok (gazdanövénykór, hőérzékenység stb.) változását eredményezheti. A másodlagos szerkezet az egyszálú RNS-vírusokban egy feltekert fonál alakját mutatja, ahol a lehetőségek szerint hidrogén-híd kötések alakulnak ki, amelyek a molekulát stabilizálják. A másodlagos szerkezet eredményeképpen a nukleinsav egymástól ával eső részei kerülnek kapcsolatba és alkotják az adott RNS-re jellemző térbeli szerkezetet. A DNS-vírusok nukleinsava zárt, gyűrű formájú. A kétszálú DNS-vírusoknál 8-10 ezer nukleotid szabályos bázispárosodással alkotja a genomot. A geminivírusok két egyszálú DNS: csak részben mutat szekvencia-azonosságot egymással.

A növénypatogén vírusok rendszere

A vírusok jelenlegi osztályozása gyakorlati megfontolásokon alapul, elsősorban aszerint, hogy bakteriofágok, illetve növények, gombák, gerinctelenek vagy gerincesek betegségeit okozzák. Ezen belül a növénypatogén vírusokat a külső burok megléte vagy hiánya, a nukleinsav típusa (DNS vagy RNS), a nukleinsavláncok száma (egy vagy több), majd a virionok alakja, a genom osztoottsága, illetve más közös tulajdonságok (átvitel, antigén rokonság stb.) szerint rendszerezük. Ma már nyilvánvaló, hogy ez a felosztási mód túlhaladott, s a rendszerezés gazi alapja a vírusok nukleinsav-szerveződése és replikációs stratégiája lesz. Napjainkban azonban még van olyan vírus, amelynek teljes nukleotid szekvenciája nem ismert. Jelenleg még a vírusok teljes replikációs rendszereinek ismerete sincs azon a fokon, hogy az egy átfogó rendszer alapját képezhesse.

A növénypatogén vírusok között csak a Rhabdo- és Tospovírusoknak van külső glükoproteid burka. Nukleinsavuk negatív szálú RNS, vagy egyes szálai részben pozitív, részben negatív polaritásúak. A csoporthoz elsősorban állat- és humánpatogén vírusok tartoznak és csak egyes tagjai növénypatogének, mint pl. a brokkoli nekrotikus erőség vírusa (*Broccoli yellow net virus*, BYNV) vagy a tripszekkel terjedő paradicsom bronzfoltosság vírus (*Tomato spotted wilt virus*, TSWV).

A burok nélküli vírusok genomja vagy DNS, vagy RNS. A DNS-vírusok közül pl. a Caulimovírusok genomja kétszálú, az elsősorban gabonapatogén Geminivírusok (gemin = ikrek) két, egyszálú DNS-láncot tartalmaznak. A Geminivírusok egyetlen hazai képviselője a búza törpülés vírus (*Wheat dwarf virus*, WDV). A pillangósvirágúak gyökértumorját okozó sebtumor vírus (*Wound tumor virus*, WTV) genomja kétszálú RNS.

A növénypatogén vírusok túlnyomó, mintegy 75%-ában a genetikai információ egyszálú pozitív RNS. A pozitív jelölés arra utal, hogy a vírus-RNS messenger RNS-ként viselkedik, fehérjék átírására közvetlenül alkalmas. Az RNS-vírusok további felosztásának alapja a virion felépítése. A helikális vírusok nukleinsava csigavonal szerint rendeződik, ezt borítják, ugyancsak a csigavonalnak (helix) megfelelően, a köpenyfehérje alegységek (pl. TMV). Ez az elrendezés hosszú, merev pálcika formákat vagy hajlékony fonalakat (Potexvirus, Potyvirus) eredményez. Merev, pálcika alakú virionjai vannak a TMV-nek, míg a hajlékony formákra

példaként a burgonya X vírus-csoport (*Potexvirus*) vagy a burgonya Y víruscsoport tagjai (*Potyvirus*) szolgálnak. A Potyvirusok a gazdaságilag legjelentősebb kórokozókat foglalják magukba. Ilyen a burgonya Y vírus (*Potato Y virus*), a cukornád mozaik vírus (*Sugarcane mosaic virus*, SCMV), a kukorica csíkos mozaik vírus (*Maize dwarf mosaic virus*, MDMV), vagy a szilvahimlő vírus (*Plum pox virus*, PPV). A closterovirusok csoportjában a cukorrépa sárgaság vírus (*Beet yellows virus*, BYV) virionjainak hossza a 2000 nm-t is eléri. A szőlő levélsodródását (*Grapevine leafroll virus*, GLRV) is closterovirus okozza. Az említett víruscsoportokban a genom osztatlan, azaz egykomponensű.

A virionok másik csoportjába az osztott genomú, vagy más névvel, a többkomponensű vírusok tartoznak. A többkomponensűség azt jelenti, hogy a genom több (2-3 vagy több) részből áll, s az egyes nukleinsavdarabok külön burkolódnak be, ugyanazokkal a köpenyfehérje-alegységekkel. A többkomponensűség egyben azt is jelenti, hogy a vírus csak minden komponens együttes jelenlétében fertőzőképes. Ilyen osztott genomú víruscsoportot képvisel a kétkomponensű dohány sémör vírus (*Tobacco rattle virus*, TRV), vagy a háromkomponensű árpa csíkos mozaik vírus (*Barley stripe mosaic virus*, BSMV).

Az izometrikus vírusok virionjai is egykomponensű vagy több-komponensű csoportra oszthatók. Osztatlan a genom a tarlórépa mozaik vírusban (*Turnip yellow mosaic virus*, TYMV) vagy a sárgulásos megbetegedéseket okozó Polorovirus csoportban. E csoportba tartozik a burgonya levélsodródás vírusa (*Potato leafroll virus*, PLRV) vagy az árpa sárga törpülés (*Barley yellow dwarf virus*, BYDV). Az osztott genomú izometrikus vírusok virionjai azonos nagyságúak, bennük a nukleinsavak szála azonban eltérő hosszúságú. Két részre osztott a tehénborsó mozaik vírus (*Cowpea mosaic virus*, CPMV) vagy a szőlőt fertőző, fonálférgekkel terjedő Nepovirusok. Három különböző molekulatömegű virion jellemzi a bromovirus csoportot, amelynek jellegzetes képviselője a gabonapatogén rozsnok mozaik vírus (*Brome mosaic virus*, BMV). Szintén háromkomponensű az elsősorban zöltségféléket fertőző uborka mozaik vírus (*Cucumber mosaic virus*, CMV), míg a lucerna mozaik vírus (*Alfalfa mosaic virus*, AMV) négykomponensű. Ez utóbbi esetben azonban a virionok nagysága is eltérő.

A vírusok csoportjában különleges helyzetet foglalnak el a **helper** és a **szatellit vírusok**. A dohány nekrozis vírus (*Tobacco necrosis virus*, TNV) virionjai kb. 30 nm átmérőűek. A fertőzött növényekből azonban a TNV virionjai mellett néha kisebb, 17 nm nagyságú virionokat is el lehetett különíteni, amelyek azonban mindig csak a TNV-vel együtt voltak jelen (*satellit* = csatlós). Tekintettel arra, hogy a szatellit vírus (*Satellite tobacco necrosis virus*, STNV) vírusreplikációja (vírusszaporodása) a TNV-től függött, ezért a szatellitek replikációját (esetünkben a TNV-t) segítő, azaz helper vírusnak nevezték el. A szatellit vírusok tehát olyan önálló virionokat alkotnak, amelyek replikációját egy helper vírus irányítja, segíti. A szatellit vírus a helper replikációját visszaszorítja, mintegy parazitálja.

Más vírusok körében is találunk hasonló eseteket. Néha a szatellit nem önálló virion, hanem csak RNS. A szatellit RNS-ek replikációja is a helper vírustól függ, a helper vírus köpenyfehérjeje borítja a *sat*-RNS-t is. Ilyen eset fordul elő az uborka mozaik vírusnál, ahol a szatellit RNS megjelenése a tünetek súlyosságát jelentős mértékben befolyásolja.

A vírusok replikációja

A virionok megsokszorozódása (multiplikációja) a gazdasejtre utalt folyamat, nem önálló életjelenség, ezért vírusszaporodásról a szó eredeti értelmében nem, csak vírusreplikációról.

vagy vírusbioszintézisről beszélhetünk. A vírusbioszintézis a sejt anyagain (pl. nukleotidokat, aminosavakat) és organellumait (pl. riboszómákat) használja fel, és a fehérje- és nukleinsav-szintézis általánosan ismert menetét követi. A megfertőített sejt az új genetikai kód következtében "átprogramozódik" és új biológiai egység, a vírusfertőzött sejt alakul ki. A vírusnukleinsav szerepe kettős: alkalmas egyrészt egyes szekvenciák újratermelésére, másrészt pedig a genetikai információ megőrzésére.

A vírusreplikáció során két, egymástól térben és időben is elhatárolt folyamat megy végbe. Az első az új nukleinsavláncok kilakítása megsokszorozása, a második a vírusgenom által kódolt fehérjék szintézise. E folyamatok együttes neve a replikáció, ami az új virionok szintézisét entli.

Általános értelemben véve a pozitív RNS vírusok replikációja (a TMV-replikációt alapul véve) a következő lépéseketköveti:

1. A fertőzés során – passzív úton - virionok jutnak a növényi sejtekbe.
2. A citoplazmában megkezdődik az RNS 5' vége felől a proteinburok elvesztése (deproteinizálódás). A nukleinsav szabadon maradt vége a riboszómákhoz tapad.
3. A riboszómák felületén megkezdődik az első fehérjék, rendszerint elsőként a vírus RNS-ől függő RNS polimeráz (replikáz) enzim szintézise. A replikáz enzim klakításában a gazdaszervezet fehérjéi is részt vesznek (replikáz komplex).
4. Új nukleinsav száalak szintézise: A replikáz enzim a csupasz, pozitív polaritású RNS-ről gy, a neki megfelelő, de negatív szálú másolatot (templátot) képez. Ez kétszálú vírus RNS-ek épződésében nyilvánul meg, amit replikatív formának (RF) nevezünk. Az RF-ből csak a pozitív szálú RNS alkalmas a transzformációra – azaz új pozitív szálú vírus RNS-ek épzésére. Az eredmény sokszálú replikatív intermedier (RI) képződése, amelynek termékei az új, pozitív polaritású vírus nukleinsavak.
5. Génexpresszió: a vírus RNS-ben foglalt genetikai információk megnyilvánulása, új fehérjék szintézise. Az új fehérjék egy része a nukleinsav szintézist segítő enzim: pl. replikázok, más részük a kórokozó növényben való elterjedését szolgálja (transzlokációs fehérjék), megint más részük pedig a virionok külső védelmét biztosítja (köpenyfehérje).
6. Az összeépülés a frissen szintetizált nukleinsavak és a köpenyfehérje alagségek fizikai összeépülését jelenti. A vírus nukleinsavon ugyanis fehérjét felismerő helyek vannak, ahonnan mindkét irányban megkezdődhet a nukleinsav fehérje alagségekkel való beborítása (enkapszidáció).
7. Virionok raktározása a vakuolumokban, és a virionok kiszabadulása.

természetesen a vírusok eltérő replikációs és transzlációs stratégiákat alkalmaznak, az egyes hatóságok kombinációival. A multikomponensű vírusok csak akkor tudnak replikálódni, ha a sejten mindegyik komponensük jelen van, hiszen a replikációhoz szükséges enzimek külön- külön virionban kódoltak. A kettősszálú DNS vírusoknál egy hírvivő RNS (messenger RNS, mRNS) közvetíti a DNS-ben foglalt információt. A negatív szálú vírusoknál egy pozitív szálú RNS segítségével történik a vírusfehérjék szintézise. A replikációs stratégiák bővebb tárgyalására e helyen nincs mód, de az ajánlott irodalomban több dolgozat részletesen tárgyalja a folyamatokat. A jövő, még kialakulóban levő vírusrendszer alapja azonban a génkifejeződési stratégiákra fog építeni, mintsem a virionok külső megjelenésére.

A vírusok átvitele és terjedése

A növényvírusok fennmaradásának alapvető feltétele az, hogy a vírusok a fogékony növényben (gazdanövény) replikálódnak, egyik növényből a másik növénybe átvihetők és elterjedni képesek.

A vírusok terjedése passzív folyamat, ugyanis a vírusoknak nincsenek olyan enzimeik, amelyek lehetővé tennék az aktív terjedést.

A vírusátvitel (vírusterjedés) lehetőségei

A vírusok átviteli és terjedési lehetőségeit két csoportba lehet sorolni: (1) állatvektorok nélküli vírusátvitel és (2) állatvektorokkal történő vírusátvitel, illetve terjedés. Az egyes terjedési módok vírusoktól és gazdanövényektől függően változhatnak, de a fenti átviteli lehetőségek kombinálódhatnak is. A vírusok terjedésében igen nagy szerepe van annak, hogy a vírusok széles gazdanövénykörrel (több növény családba tartozó, számos növényfaj) rendelkeznek. Ezek között a növények között kiterjedt az élő gazdanövényeknek a köre, amelyek jelentős szerepet játszanak nemcsak a vírusok terjedésében, hanem fennmaradásában és a fertőzési lánc stabilitásában is. Az ökológiai tényezők fontos szerepet játszanak a vírusátvitelben. Kedvező ökológiai körülmények hatására időben és térben egybeeső epidémiák alakulhatnak ki, vagy olyan pandémiák keletkezhetnek, amelyek kiterjedése és időtartama határtalan.

A gazda-vírus kapcsolatok kialakulásában fontos szerepet játszik a gazdanövény genotípusa (faj, fajta), fenofázisa (fejlettségi állapot), a környezeti tényezők (tápanyag-ellátottság, hőmérséklet) és a vírus (vírustörzs) patogenitása.

Állatvektorok nélküli vírusátvitel

Kertészeti oltás

Elvileg minden növényvírus kertészeti oltással átvihető fogékony gazdanövényére, ha a növény és a vírus között összeférhetőség (kompatibilitás) van. Az oltással történő vírusátvitelnek elsősorban a fás szárú növények esetében van jelentősége, pl. alma klorotikus levélfoltosság vírus (*Apple chlorotic leaf spot virus*, ACLSV).

Mechanikai átvitel

A növényvírusok legnagyobb része azzal a tulajdonsággal rendelkezik, hogy a vírusbeteg növény szövetnedvével átvihető egészséges növénybe. Ezt az átviteli módszert mechanikai átvitelnek nevezzük, amelynek feltétele az, hogy a vírus – mint obligát sejtparazita – sebzéseken keresztül bejusson a növénybe. Természetes úton (a beteg növények érintkezése egészséges növényekkel) a levélszörök letöredezésével és az epidermisz megsérülése következtében, vagy az ember által művi úton történő sérüléseken át, mesterséges úton is megtörténhet a mechanikai vírusátvitel. Az eredményes vírusátvitel lokális (helyi) és szisztemikus (generalizálódó, az egész növényre kiterjedő) tünetekben nyilvánul meg. Egyes gazda-vírus kapcsolatokban látencia (tünetmentesség) is kialakulhat.

Vegetatív szaporítószervek

Gyakorlati szempontból igen jelentős a vírusok vegetatív szaporítószervekkel (gumó, hagyma stb.) történő terjedése. Ez az átviteli lehetőség elsősorban a burgonyatermesztésben és a díznövénytermesztésben okoz felbecsülhetetlen károkat. A vegetatív szaporítószervekkel történő vírusátvitel a növények leromlását (degeneráció) idézi elő.

Generatív szaporítószervek

A generatív szaporítószervekkel (magvak) történő vírusterjedésnek igen nagy gyakorlati jelentősége van. A növényi magvak nemzetközi forgalmában ez különösen jelentős. A maggal történő vírusátvitel bekövetkezhet a mag felületén megtapadó vírussal (külső vírusátvitel) és a mag belsejében (az endospermiumban) megtalálható vírussal (belső vírusátvitel). A dohány mozaik vírus ún. külső magátvitellel terjed, amely pl. a paradicsomtermesztésben igen nagy jelentőségű. A bab közönséges mozaik vírusra (*Bean common mosaic virus*, BCMV) az ún. belső magátvitel a jellemző. A maggal terjedő vírusok legnagyobb része pollennel (virágporral) is terjed.

Pollen (virágpor)

A pollennel történő vírusterjedés főleg a gyümölcsfák esetében gyakori. Jelentőségére utal, hogy pl. vírusmentesített gyümölcsfa állományban 6 év alatt 40%-os vírusfertőzöttség is kialakulhat a pollen átvitel következtében.

Gyökér

A vírusbeteg növények gyökere jelentős szerepet játszik egyes vírusok (gyümölcsfa vírusok) átvitelében. A talajban elkorhadt gyökérmaradványok is fertőzési veszélyt jelentenek.

Alacsonyabb rendű gombák

A talajban élő alacsonyabb rendű gombák (*Olpidium*, *Polymyxa*, *Pythium*) jelentős szerepet játszanak egyes vírusok terjesztésében. A cukorrépa nekrotikus sárgaerűség vírus (*Beet necrotic yellow vein virus*, BNYYV) – amely a cukorrépa ún. *rizómánia* betegségét idézi elő - kizárólag a talajban élő gombával (*Polymyxa betae*) terjed.

Aranka (*Cuscuta*) fajok

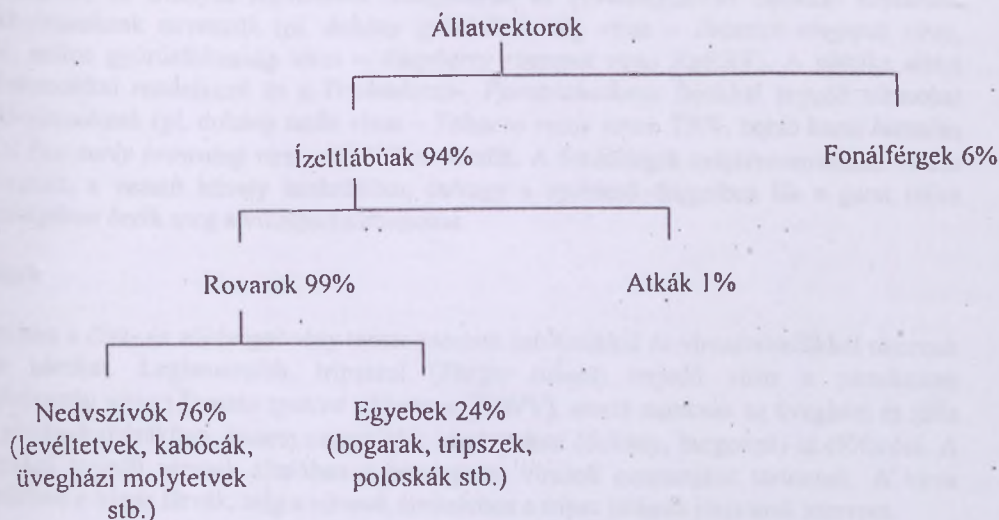
Az aranka fajok (pl. *Cuscuta campestris*, *C. subinclusa*), mint biológiai vektorok játszanak szerepet egyes vírusok terjedésében. Az aranka fajokkal történő vírusátvitel különösen akkor jelentős, ha az aranka növény nemcsak vektora, hanem gazdája is a vírusnak.

Víz

Az utóbbi évek kutatási eredményei igazolták, hogy a szárazföldi növények vírusai (terresztris vírusok) vizekben is előfordulnak, és alkalmasak vírusfertőzések előidézésére. A stabil vírusok (dohány mozaik vírus, uborka zöldfoltosság mozaik vírus – *Cucumber green mottle mosaic virus*, CGMMV) vízzel történő átvitelének elsősorban a természetes vizekkel (folyók, tavak) öntözött kertészeti kultúrákban van jelentősége.

Állatvektorokkal történő vírusátvitel

A vírusok terjedésében a legnagyobb szerepe az állatvektoroknak van (2. ábra).



2. ábra. Az állatvektorok vírusátvitelben játszott szerepe

Levéltetvek

A vírusátvitelben a levéltetvek a legjelentősebbek. A szűrő-szívó szájszervű rovarok magas fokú specializáltságot mutatnak a „növény–vírus–vektor” kapcsolatban. A levéltetvek szájszervükkel (*styletum*) veszik fel a vírust a beteg növényből, és a táplálkozás során szívogatásukkal továbbítják a vírust egészséges növények szövetébe. Attól függően, hogy a vírusrészecskék megtapadnak-e a *styletumon* (szipóka), vagy az emésztőszerv rendszerbe jutva transzlokálódnak a nyálmirigyekben, megkülönböztetünk **nem perzisztens (stylet-borne)** vírusokat, vagy **perzisztens (cirkulatív)** vírusokat. A nem perzisztens vírusok (pl. burgonya Y-vírus, uborka mozaik vírus) a fertőzött növény levélparenchimájában lokalizálódnak, és mechanikailag is könnyen átvihetők. Legfontosabb tulajdonságaik a következőkben foglalhatók össze: a vektor (pl. levéltetű) táplálkozása során a vírusrészecskék (virionok) a vektor szipókájának csúcsi barázdáiba kerülnek, és a folyamatos táplálkozás során azonnal fertőzővé válnak. A perzisztens (cirkulatív) vírusok (pl. burgonya levélsodródás vírus, árpa sárga törpülés vírus) legfontosabb tulajdonságai a következők: mechanikailag nem vihetők át, a vírus a levéltetű táplálkozása során a vektor testüregébe kerül, és bizonyos inkubációs idő eltelte után válik fertőzőképpé. A levéltetű vírusvektorok egyik legismertebb, és vírusátviteli aktivitás szempontjából legfontosabb képviselője a zöld őszibarack levéltetű (*Myzus persicae*), amely mintegy 100 növényvírus átvitelére képes.

Kabócák

A mezei kabócafélék (Cicadelidae), a sarkantyús kabócafélék (Delphacidae) és a púpos kabócafélék (Membracidae) a legismertebb vírus- és fitoplazmavektorok. A kabóccákkal történő kórokozó átvitel általában perzisztens módon történik.

Fonálférgék

A talajban élő fonálférgék igen jelentős szerepet játszanak a vírusok terjedésében. A fonálférgekkel terjedő vírusok közül azokat, amelyek izometrikus partikulumokkal rendelkeznek, és amelyek *Xiphinema*, *Longidorus* és *Paralongidorus* fajokkal terjednek, **NEPO**-vírusoknak nevezzük (pl. dohány gyűrűsfoltosság vírus – *Tobacco ringspot virus*, TRSV, málna gyűrűsfoltosság vírus – *Raspberry ringspot virus* RpRSV). A pálcika alakú partikulumokkal rendelkező és a *Trichodorus*-, *Paratrachodorus* fajokkal terjedő vírusokat **NETU**-vírusoknak (pl. dohány rattle vírus – *Tobacco rattle virus*, TRV, borsó korai barnulás vírus – *Pea early browning virus*, PEBV) nevezzük. A fonálférgék szájszuronyaikkal veszik fel a vírust, a vezető hüvely barázdáiban és/vagy a nyelőcső üregeiben ill. a garat teljes hosszúságában őrzik meg a víruspartikulumokat.

Tripszek

Elsősorban a dísz- és zöldségnövény termesztésben szívásaikkal és vírusátvitelükkel okoznak súlyos károkat. Legismertebb, tripszszel (*Thrips tabaci*) terjedő vírus a paradicsom bronzfoltosság vírus (*Tomato spotted wilt virus*, TSWV), amely nemcsak az üvegházi és fólia alatti növénykultúrákban, hanem szántóföldi növényeken (dohány, burgonya) is előfordul. A tripszekkel terjedő vírusok általában a perzisztens vírusok csoportjába tartoznak. A vírus felvételében a tripsz lárvák, míg a vírusok átvitelében a tripsz imágók játszanak szerepet.

Üvegházi molytetvek (fehérlegyek, liszteskék)

Az utóbbi években több olyan vírus vált ismertté, amelyek üvegházi molytetvekkel terjednek. Ismertek olyan molytetű populációk is, amelyek – feltehetően a globális felmelegedés következtében – 1970 és 1990 között 1600-szorosára növekedtek. A molytetvekkel terjedő vírusok közül legismertebb az abutilon mozaik vírus (*Abutilon mosaic virus*, AbMV) és a saláta fertőző sárgaság vírus. Mindkettő *Bemisia tabaci* molytetűvel terjed perziszens módon. Egyes paradicsom patogén vírusok (pl. paradicsom fertőző klorózis vírus) *Trialeurodes vaporariorum* fajjal terjednek.

Atkák

Az Eriophyoidea családba tartoznak olyan atka vektorfajok (pl. *Abacarus hystrix*, *Aceria ficus*, *Eriophyes insidiosus*), amelyek vírusátvitelre képesek. Az *Aceria tulipae* – mint a legismertebb faj – pl. a búza csíkos mozaik vírus terjesztésében játszik szerepet. Figyelemre méltó, hogy az atkáknak bizonyos növényekre adaptálódott fiziológiai rasszai alakultak ki. Ilyen az ún. „búza rassz”, amelynek vírusátvivő hatékonysága igen nagy, 84-92%. A vírusátvitelben mind a lárvák, mind az imágók aktívak.

A vírusok elleni védekezés lehetőségei

A növényi vírusok a gazdasejttel szoros biológiai egységet alkotnak. Ezért minden olyan törekvés, amely a vírust igyekszik megsemmisíteni, egyben a gazdasejt pusztulásával is jár. Mindezekből következik az, hogy a rovarölő (inszekticid), gombaölő (fungicid) és baktériumölő (baktericid) készítményekhez hasonló analóg ún. vírusölő („viricid”), *in vivo* alkalmazható készítmények nincsenek. Ha a vírus a gazdanövényt már megfertőzte, a vírusok elpusztítása a növényben együtt jár a gazda elpusztulásával.

A növényi vírusok elleni védekezési lehetőségeket három nagy csoportba soroljuk: 1. preventív vagy megelőző eljárások, 2. biológiai és biotechnológiai védekezés, 3. gyógyítás (terápia).

Preventív vagy megelőző eljárások

A preventív vagyis a megelőző védekezés célja az, hogy megakadályozza a vírus és a gazdanövény találkozását, vagyis a vírus-gazda kapcsolat létrejöttét és hogy meggátolja a már vírusfertőzött növényből a vírus továbbterjedését.

Alapvetően fontos ebben a tekintetben a vírusmentes szaporítóanyag használata, annak ellenére, hogy ez csak rövid ideig jelent vírusmentességet, hiszen külső forrásokból (gyomnövények, kultúrnövények, öntözővíz) a genetikailag fogékony fajok/fajták könnyen megfertőződnek.

A szűrő-szívó szájszervű vírusvektor rovarok elleni inszekticides védekezés csak akkor megfelelő hatékonyságú, hogyha a vírusátvitel módja perzisztens ill. cirkulatív. Egyes kísérletek szerint a könnyű nyári olajos permetezés jelentősen csökkentette a levéltetvek szipókáinak behatolását a növényi sejtbe. A reflektív anyagok és tükröződő felületek használata (pl. nejlon fólia, alumínium fólia) egyes kultúrfajok esetében távoltartja a vírusvektor rovarokat, ezért sikerült a kultúrnövények vírusfertőződését megakadályozni.

A vírusok elleni integrált védekezés fontos részét képezik a helyes agrotechnikai eljárások. Ilyen pl. a burgonyatermesztésben a megfelelő időben alkalmazott ún. száreltávolításos módszer, amellyel meg lehet akadályozni, hogy a burgonya hajtásokból a vírusok az asszimilátákkal együtt a gumókba transzlokálódjanak. Vetőgumó és vetőmag termesztés esetében alkalmazzák a *negatív szelekciót*, melynek az a lényege, hogy a fajtaidegen vagy beteg, vírusfertőzött egyedeket eltávolítják a tábláról és megsemmisítik. Az agrotechnikai védekezési eljárásokhoz tartozik a vírusokra fogékony rokon kultúrák (pl. paprika, burgonya, dohány) közötti megfelelő *izolációs távolságok* betartása. Kiemelt, de a termesztésben sajnos sokszor elhanyagolt jelentőségű a gyomnövények irtása, hiszen közismert, hogy számos gyomfaj a gazdaságilag jelentős vírusok és vírusvektorok gazdája (tápnövénye). Ilyen módon a gyomnövények közvetett kártétele abban nyilvánul meg, hogy mint fertőzési források, vírusrezervoárok, vírusvektorok tápnövényei is jelentősek.

E helyen kell megemlítenünk a korrezisztencia fogalmát. Ennek az a biológiai alapja, hogy a kultúrnövények bizonyos fenofázisban (általában 4-6 leveles állapotban, de a kabakosok szikleves korban) a legfogékonyabbak a fertőzésre. A vírusvektor levéltetvek számára is a fiatal hajtások az optimális táplálékforrások. Ha a vírusvektor levéltetvek tömeges rajzása a növények későbbi fenológiai stádiumában van, azok már nem jelentenek optimális tápanyagforrást a vektorok számára, ezért a rajzás idejére a kultúrnövények „túlnövik” a vírusfertőzésre fogékony állapotot.

Természetesen a növények harmonikus tápanyag-, és vízellátottsága is jelentős mértékben hozzájárul a növény egészségi állapotának megőrzéséhez.

A megelőző védekezési eljárásokhoz tartozik - különösen zárt termesztő berendezésekben -, a fertőtlenítő eljárások és higiéniai rendszabályok betartása. Paprika, paradicsom termesztésben pl. az üvegházi manuális munkák során a dohányzás mellőzése (a dohány mozaik vírus részecskéi még a cigaretta hamuból is kimutathatók!), az alapos kézmosás, a vágóeszközök és termesztőberendezések megfelelő fertőtlenítése - pl. nátrium-hidroxid, nátrium- vagy kalciumhipoklorit oldattal -, alapvető fontosságú.

Biológiai és biotechnológiai védekezés

A vírusok elleni védekezés leghatékonyabb és legkörnyezetkímélőbb módszere a rezisztenciára történő nemesítés, amely hagyományos ún. ivaros keresztezéssel és modern

biotechnológiai módszerek segítségével történhet. A nemesítés szempontjából nagy jelentőségűek a vad fajok és származékaik, melyek a rezisztenciagéneket tartalmazzák.

Az ivaros keresztezés számos növényfaj között elsősorban a rendszertani távolság miatt nem lehetséges. A **protoplasztfúzió** azonban lehetőséget teremtett arra is, hogy a rendszertanilag távolieső fajok között az ivaros keresztezés megkerülésével olyan szomatikus hibrideket lehessen előállítani, amelyek a vírusrezisztenciáért felelős gén/géneket is tartalmazzák. A protoplasztfúzió a sejtfaluktól megfosztott sejtek, a protoplasztok hibridizálását jelenti. Így sikerült a *Solanum brevidens* vad faj több vírussal szemben is rezisztenciát mutató származékait és a *S. tuberosum* (burgonya) között vírusellenálló szomatikus hibrideket létrehozni.

Az ivaros keresztezés és a protoplasztfúzió előnye, hogy a poligénikusan öröklődő rezisztenciát is át lehet vinni a vad fajokból (származékokból) a kultúrfajtákba. Hátrányuk viszont, hogy a nemesített fajtákba a kedvezőtlen tulajdonságokat hordozó gének is bekerülnek. A sikeres protoplasztfúzió alapfeltétele, hogy a protoplasztokból teljes növényt sikerüljön regenerálni.

A biológiai védekezés egyik lehetősége a **keresztvédetség** (cross protection). Ez azt jelenti, hogy egy vírus gyenge tüneteket okozó törzse ha megfertőzi a gazdanövényt, akkor a gazda egy későbbi, ugyanazon vírusfaj erősebb tüneteket okozó törzsével szemben rezisztenssé válik. A keresztvédetség gyakorlati alkalmazhatóságának legnagyobb hátránya, hogy egy bizonyos növényfajra nézve gyenge vírustörzs egy másik növényfaj esetében súlyos tüneteket okozhat.

A molekuláris genetikai módszerek alkalmazásával lehetőség nyílt arra, hogy a növényekbe csak a vírusrezisztenciáért felelős gén/géneket juttassuk be, és így ún. **transzgénikus** növényeket állítsunk elő. Ez a módszer gyorsabb, olcsóbb és kifizetődőbb, mint a hagyományos nemesítési eljárások. Aszerint, hogy a bevitt gén/gének milyen forrásból származnak, (a) növényi eredetű természetes vírusellenállóság géneket, (b) vírus eredetű géneket, és (c) „egyéb” forrásból származó vírusellenállóságot hordozó géneket különböztetünk meg.

Közismert, hogy egy adott vírusbetegséggel szemben számos növényfaj/fajta ellenálló. A *Solanum stoloniferum* és a *S. demissum* Dél-amerikai gumóképző vad fajok számos származéka rezisztens több burgonyapatogén vírussal szemben. A legkézenfekvőbb a betegségellenálló növényekben a vírusrezisztenciáért felelős gének izolálása és klónozása. A növényi genom nagy méretét tekintve (102-104 megabázispár) ez nem egyszerű feladat. A génizolálás a transzpozon nyomomonkövetés, és újabban a molekuláris térképezési eljárások alkalmazásával lehetséges. A rezisztenciáért felelős géneket vagy indirekt módon *Agrobacterium*-os transzformálás) vagy direkt módszerrel (polietilén-glikol kezeléssel, elektromos impulzus segítségével, vagy „gépűskával”) juttatják be a növényi genomba.

A kórokozótól származtatott rezisztencia esetében a vírus eredetű géneket juttatjuk a növényi sejtekbe. Az 1980-as évek közepén olyan transzgénikus növényeket sikerült előállítani, amelyek növényi vírus **köpenyfehérje génjét** tartalmazták. Ezért a növények saját maguk termelték a vírus köpenyfehérjét és ezáltal rezisztenssé váltak az adott vírus fertőzésével szemben. A vírusoktól származtatott ellenállóságnak a legelterjedtebb és legsikeresebb formája a vírus köpenyfehérje gén által közvetített rezisztencia. Jelenleg közel 50 vírus-gazda kapcsolat esetében sikerült a vírus köpenyfehérje gént a növényekbe beépíteni és ezáltal rezisztenciát kialakítani.

Nemzetesen egyéb víruseredetű gének növényi genomba történő beépítésével is sikerült vírusellenállóságot kiváltani. Így pl. sikeres volt a vírus replikáz enzim génjének és a vírusok

sejtről-sejtre történő terjedéséért felelős mozgásfehérje (movement protein) géneknek a növénybe történő beépítése.

Ismert még ebben a tekintetben a szatellit RNS és a defektív interferáló (DI) RNS által közvetített rezisztencia. A DI RNS-ek olyan mutáns vírusok, melyek gátolják a komplett vírionok replikációját. Új típusú vírusellenállóságot sikerült elérni, amikor a növényekbe a vírusok DI RNS-ét építették be.

Az „egyéb” forrásból származó vírusellenállóság génekhez tartoznak a ribozimokat kódoló gének. A ribozimok rövid RNS molekulák, melyek endonukleáz aktivitással rendelkeznek, vagyis a vírus RNS felismerésére és elhasítására képesek. Ezáltal a vírus replikációja gátlódik. Jelentősek az antitesteket kódoló gének. Az antitestek a melegvérű állatok vérében az adott vírussal szemben képződő ellenanyagok, melyek a vírus fajlagos felismerésére és megkötésére képesek. Amennyiben az antitestet kódoló génnel transzformáljuk a növényt, az általa termelt antitest megköti az adott vírussal és ezért a növény a vírusfertőzéssel szemben rezisztenssé válik.

Az antiszensz vírusszekvenciák esetében az antitestekhez hasonlóan a kórfolyamatot úgy kívánják gátolni, hogy a vírus makromolekuláit megkötik. Az antiszensz vírusszekvenciák az adott vírusnak megfelelő komplementer vírusszekvenciák, melyek a komplementaritás szabálya szerint a vírus megkötésére alkalmasak.

Az ún. „öngyilkos gének” jellemző tulajdonsága az, hogy a vírusfertőzés hatására olyan toxikus fehérjék termelését indítják meg, melyek a gazdaszöveteket elpusztítják és ezáltal a kórokozót (vírust) a fertőzés helyén lokalizálják, meggátolva ezzel a vírusnak a növényben való transzlokálódását.

Riboszóma inaktiváló proteinek termelődnek a *Phytolacca americana* (alkörmös) növényfajban (PAP), mely hatékony inhibitora számos növényi vírusnak. A PAP képződéséért felelős gén más növényfaj genomjába történő beépítésével számos esetben sikerült vírusellenállóságot kialakítani.

Elméleti jelentőségű érdekesség, hogy néhány állati eredetű gén növénybe való beépítésével is sikerült már a növényben vírusellenállóságot kialakítani.

Gyógyítás (terápia)

A növényi vírusok elleni védekezési eljárások közül a terápia a magas hőmérséklettel (hőterápia) és/vagy természetes és szintetikus anyagok felhasználásával lehet gátolni a növényvírusok szaporodását és terjedését *in vivo* és *in vitro*.

A **hőterápia** a csonthéjas gyümölcsféléknél, a szőlőnél és egyes dísznövény fajoknál (muskáti, gerbera, szegfű) ismert vírusmentesítési módszer. Ebben a tekintetben rendkívül fontos a megfelelő hőmérsékleti érték és időtartam alkalmazása, ugyanis sok esetben a növényi fehérjék „hőhalál pontja” alacsonyabb, mint a vírusok hőinaktiválási pontja. Szegfű esetében az anyatöveket két hónapig 37 °C-on tartják. Ez alatt az idő alatt az intenzíven osztódó és növekvő csúcsi merisztémasejtek vírusmentessé válnak. Ezekből a vírusmentes csúcsi merisztémasejtekből speciális táptalajon és kontrollált környezeti feltételek között egészséges növények nevelhetők fel. Természetesen a vírusmentességet folyamatosan ellenőrizni kell (pl. ELISA módszerrel) és a vírusfertőzött növényeket meg kell semmisíteni. Az eredményes védekezés szempontjából a hőterápiát és a merisztéma tenyésztést gyakran kombináltan alkalmazzák.

A **kemoterápia** során természetes vagy szintetikus anyagok felhasználásával a vírusok replikációját és terjedését gátoljuk meg. Fontos tudni, hogy ezen inhibitorok (gátló anyagok) nem viricidek, tehát nem pusztítják el a vírusokat.

A természetes inhibitorok olyan vírusgátló hatással rendelkező anyagok, melyek az egészséges növényben is jelen vannak vagy a növényeket ért stresszhatások pl. vírusfertőzés következtében termelődnek. Ez utóbbiakat indukált inhibitoroknak is nevezik. Az egészséges növényekből a *Dianthus*, *Phytolacca*, *Chenopodium*, *Beta* és egyéb növényfajokból izoláltak vírusinhibitorokat, melyek kémiai összetételüket tekintve fehérjék, poliszacharidok, glükoproteidek vagy fenol jellegű anyagok. Hatásmechanizmusuk kevésbé ismert.

Az indukált inhibitorok lehetnek fitoalexinek, patogenezissel kapcsolatos fehérjék (PR proteinek), továbbá kémiai és fiziológiailag heterogén inhibitorok.

A mesterséges vagy szintetikus inhibitorok több csoportba sorolhatók, melyek közül legfontosabb a merisztéma kultúrákban is használatos ribavirin és a ribavirin analógok.

A viroidok

A viroidokat 1971-ben jellemezték először Diener és munkatársai, és különítették el a vírusoktól. A viroidok a vírusokhoz közelálló szervezetek, de genomjukban csak nukleinsav (DNS vagy RNS) van, fehérjeburkuk nincs. Nukleinsavuk köralakú, alig néhány száz (240-380) nukleotidból áll. A viroid RNS-en belül magas fokú a komplementaritás, oly mértékben, hogy szinte kétszálúnak tűnnek. Újabban kétszálú DND viroidokat is leírtak. Virionokat nem képeznek. Önálló replikációra képesek. Az RNS nem kódol fehérjét, maga a gazdanövény sejtmagjában levő RNS polimeráz végzi az RNS replikációját. Mindez felveti azt a kérdést, hogy filogenetikailag nem a növény sejtmag nukleinsavainak önállósult formái-e? Mechanikai úton sebzéssel, levéltevékkel és vegetatív szaporító szervekkel terjednek. Legismertebb képviselőik a komló törpülés viroid (*Hop stunt viroid*, HSVd), vagy a burgonya orsógumójúság viroid (*Potato spindle tuber viroid*, PSTVd).

A fitoplazmák

A fitoplazmák többnyire gömbalakú, de alakjukat változtató (kb. 100 – 1000 nm átmérőjű) többrétegű membránnal burkolt, önálló szaporodásra képes növénypatogén mikroorganizmusok. Prokariotikus szervezetek, önálló, elkülönült sejtmagjuk nincs. Genomjuk DNS, de RNS-t is tartalmaznak, önálló fehérjeszintézisük van. Tetraciklinekre érzékenyek, bizonyos esetekben a beteg növények antibiotikumokkal gyógyíthatók. A fitoplazmák az emberi és állati betegségeket okozó mikoplazmákkal (MLO) rokon szervezetek, a növényeket károsítókat nevezzük fitoplazmáknak. A baktériumokkal mutatnak rokonságot. A csavarvonal alakú fitoplazmák neve **spiroplazma**. Táptalajon is tenyésztethetők. Mintegy száz fitoplazma fajt ismerünk. Mechanikai úton nem terjednek, kabócák terjesztik perisztens módon. Magában a rovar szervezetében is szaporodnak, így átmenetet képeznek a rovarpatogén és növénypatogén szervezetek között. Elsősorban a beteg növények szállítóedényeiben (rostacsövekben) halmozódnak fel, azt el is tömők. Általában sárgulások tüneteket okoznak. A beteg növények alacsonyabbak, rövid ízközüek, törpülnek. A hónalj hajtások ugyanakkor erőteljesen kifejlődnek, a növény bokros külsejű lesz. Legjellegzetesebb a virágtakaró levelek zöldülése, a felfújtt csészelevelek, meddő virágok. Hazánkban eddig négy fitoplazma fertőzése vált ismertté. Leggyakoribb a sztolbur fitoplazma (*Stolbur phytoplasma*), és a csonthéjasok európai sárgasága (*European stone fruit yellows phytoplasma*) fitoplazmák, míg az őszirózsza sárgaság (*Aster yellows*), a here virágzöldülés (*Clover phyllody phytoplasma*) viszonylag ritka. Kimutatásuk és rendszerezésük a 16S riboszóma RNS-ek jelenlétén és annak eltérésein alapszik.