

CZU: 632.937.16

[https://doi.org/10.59295/sum6\(186\)2025_14](https://doi.org/10.59295/sum6(186)2025_14)

REALIZĂRI ȘI PERSPECTIVE ÎN APLICAREA VIRUSURILOR PENTRU BIOTEHNOLOGIILE AGRICOLE ȘI PROTECȚIA BIOLOGICĂ A PLANTELOR

Leonid VOLOȘCIUC,*Universitatea de Stat din Moldova*

Pe fundalul creșterii impactului schimbărilor climatice și agravării situației fitosanitare determinate de dezvoltarea organismelor dăunătoare, se înregistrează sporul investigațiilor științifice privind protecția plantelor, îndeosebi controlul biologic cu aplicarea mijloacelor ecologic inofensive. Printre agenții microbiologici utilizați în elaborarea preparatelor biologice o poziție deosebită revine virusurilor. Ca entități omniprezente, virusurile nu numai infectează aproape fiecare specie, ci joacă un rol semnificativ în evoluție, facilitând procesele biogeochimice și participând în calitate de factor determinant în controlul populațiilor-gazdă, precum și în aplicarea virusurilor pentru biotehnologiile agricole și protecția biologică a plantelor. Articolul conține discuții asupra rezultatelor înregistrate la rolul și locul virusurilor în biosferă, particularitățile aplicării baculovirusurilor ca agenți biologici de control a densității populațiilor insectelor dăunătoare, importanța fagilor în combaterea agenților fitopatogeni, posibilitățile utilizării micovirusurilor în controlul biologic al ciupercilor fitopatogene, realizări și perspective în aplicarea virusurilor în controlul biologic al bolilor cauzate de virusurile fitopatogene.

Cuvinte-cheie: *bacteriofagi, biocontrol, biotehnologie, entomovirus, micovirus, protecția plantelor, virus.*

ACHIEVEMENTS AND PROSPECTS IN THE APPLICATION OF VIRUSES FOR AGRICULTURAL BIOTECHNOLOGIES AND BIOLOGICAL PLANT PROTECTION

Against the background of the increase in the impact of climate change and the worsening of the phytosanitary situation caused by the development of harmful organisms, there is an increase in scientific investigations on plant protection, especially biological control with the application of ecologically friendly means. Among the microbiological agents used in the development of biological preparations, a particular position belongs to viruses. As ubiquitous entities, viruses not only infect almost every species, but play a significant role in evolution, facilitating biogeochemical processes and participating as a determining factor in the control of host populations, as well as in the application of viruses for agricultural biotechnologies and biological plant protection. The article contains discussions on the results recorded on the role and place of viruses in the biosphere, the particularities of the application of baculoviruses as biological agents to control the density of pest insect populations, the importance of fages in the control of phytopathogenic agents, the possibilities of using mycoviruses in the biological control of phytopathogenic fungi, achievements and perspectives in the application of viruses in the control of phytopathogenic fungi. diseases caused by phytopathogenic viruses.

Keywords: *bacteriophages, biocontrol, biotechnology, entomovirus, mycovirus, plant protection, virus.*

Introducere

Infecțiile virale, fiind cele mai abundente și diverse componente ale ecosistemelor naturale, dispun de mecanisme și roluri eficiente în menținerea diversității, activității și funcționalității entităților biologice [1]. La scară globală, manifestarea importanței și motivelor prevalenței și diversității virale constituie oportunități reale de determinare a căilor de interacțiune a lor cu gazde aflate la diferite faze ale evoluției [2]. Deși virusurile se caracterizează cu particularități și origine deosebite, manifestarea lor dispune de posibilități unice, pe lângă provocarea diverselor stări patologice, de modificare a proceselor fiziologo-biochimice de soluționare a problemelor de sănătate a entităților biologice, inclusiv a *Homo sapiens*.

Sporirea impactului organismelor dăunătoare pe fundalul schimbărilor climatice și creșterea prevalenței dăunătorilor prin manifestarea diverselor dificultăți, accentuează rolul procedeele tehnologice de produ-

cere a culturilor agricole: supravegherea, monitorizarea, analiza riscului organismelor dăunătoare, precum și sporirea randamentului mijloacelor de protecție a plantelor fără afectarea stării ecologice a agroecosistemelor [3]. Agravarea stării fitosanitare a culturilor agricole și aprofundarea fenomenelor și manifestărilor crizei ecologice legate de aplicarea pesticidelor, precum și inițiativele de reducere a riscurilor iminente pe fundalul înregistrării și aplicării realizărilor biotehnologice moderne, îndeosebi a celor bazate pe metodele logiile molecular biologice, reprezintă un masiv enorm de probleme și realizări, care necesită a fi discutate în vederea transferului de la combaterea organismelor dăunătoare spre aplicarea mecanismelor naturale și a mijloacelor ecologic inofensive de reglare a densității populațiilor de agenți fitosanitari [4].

Virusurile, ca entități biologice ultramicroscopice, îndeplinesc roluri esențiale și variate în natură și în viața umană. Deși acestea sunt cunoscute mai frecvent pentru impactul lor negativ, ca agenți patogeni, virusurile, ca organisme ubiquitare, manifestă roluri vitale în cadrul ecosistemelor și în procesele biologice [5]. Virusurile participă la reglarea populațiilor microbiene prin activitățile bacteriofagice, menținând echilibrul ecologic în soluri, bazinele acvatice și alte habitate, prevenind proliferarea excesivă a unor specii și facilitând diversitatea entităților microscopice. În calitate de element al proceselor de transducție, virusurile participă la transferul materialului genetic între diferite organisme, contribuind la diversitatea genetică și evoluția speciilor și influențând procesele evolutive ale bacteriilor și ale altor organisme. Virusurile influențează dinamica ecosistemelor prin impactul asupra fitoplanctonului și altor microorganisme acvatice, îndeplinind funcții biogeochimice, ele contribuie la ciclurile de nutrienți și influențează structura și funcția ecosistemelor acvatice [6].

Deși virusurile sunt agenți cauzali ai diferitor boli, totuși ele au aplicații valoroase în biotehnologie. Fiind utilizate în calitate de vectori în terapiile genice pentru a introduce material genetic în celule, virusurile oferă soluții pentru tratamente ale multor boli genetice și sunt utilizate pentru cercetarea proceselor biologice [7, 8]. Virusurile au contribuit la dezvoltarea vaccinurilor, care continuă să aibă un impact semnificativ asupra sănătății publice, prevenind bolile infecțioase și contribuind la eradicarea prin vaccinare a unor boli deosebit de grave. O gamă largă de virusuri, fiind componente a microbiomului uman, contribuie la menținerea echilibrului microbial în aparatul digestiv și influențează statutul imunitar al omului [9].

În temeiul posibilităților potențiale de aplicare a virusurilor în protecția plantelor devine necesară evidențierea direcțiilor principale de utilizare a lor pentru reducerea impactului diversității mari a factorilor care provoacă stresul biotic și minimizarea problemelor cauzate de agenți patogeni ai culturilor agricole (fitoplasme, nematozi, ciuperci, virusuri, viroizi și bacterii) și o gamă impresionantă de insecte. Impresionează rezultatele înregistrate la investigarea unor virusuri care interferează cu daunele cauzate de aceste stresuri biotice pentru fiecare clasă de agenți fitosanitari, mai frecvent la aplicarea virusurilor-vaccin în protecția încrucișată sau preimunizare pentru controlul bolilor cauzate de virusurile plantelor [10, 11].

Virusurile, ca entități biologice polifuncționale, au un rol mare atât în natură, cât și în viața umană. Ele contribuie la echilibrul ecologic, diversitatea genetică și procesele evolutive în natură, precum și funcționalitatea biomului uman. Investigarea rolurilor virusurilor reprezintă o latură esențială pentru aplicarea beneficiilor acestor entități biologice pentru soluționarea diverselor probleme biologice, de sănătate și ecologice.

Metode și materiale aplicate

Pentru cercetare au fost utilizate mai multe specii de insecte fitofage, fiind colectate din diferite agroecosisteme amplasate în zonele pedoclimatice ale Republicii Moldova.

Determinarea larvelor infectate a fost efectuată după simptomele specifice, apoi cu ajutorul microscopului fonic sau electronic. Infectarea larvelor s-a realizat cu suspensii virale de doze 10^2 - 10^6 la un individ. Observațiile au fost efectuate începând cu ziua a treia după infectare. Eficiența mijloacelor microbiologice și a preparatelor virale a fost determinată după formula Abbot, care prevede mortalitatea naturală a insectelor.

$$E_{ab} = \frac{M_c - M_e}{100 - M_e} * 100$$

unde E - indicatorul mortalității, %;

Mo - numărul de larve moarte în experiență;

Mk - numărul de larve în control;

Testarea sușelor identificate, ameliorate și recombinate de agenți biologici ai insectelor dăunătoare noctuide, *L. dispar* și *H. cunea* a fost realizată pe larve ale insectelor de laborator de vârstă II, crescute pe medii selective de cultură. A fost aplicată metoda diluțiilor succesive de la 10 până la 1000 particule virale pentru o larvă. Larvele au fost hrănite inițial cu mediu infectat, iar ulterior menținute la 26-28°C. Doza letală a fost determinată până la 200 ore din momentul infectării.

Testarea în condiții de laborator și pe lotul experimental s-a executat în 4 repetiții randomizate, în conformitate cu cerințele generale ale experiențelor de acest gen [12].

Rezultate obținute și discuții

Rolul și locul virusurilor în biosferă

În condițiile agravării impactului organismului dăunătoare și aprofundării activităților orientate spre fortificarea conceptului „O singură sănătate”, determină necesitatea cunoașterii particularităților manifestării mecanismelor de funcționare a proceselor de evoluție a virusurilor pe parcursul evoluției multimilenare. Virusurile, ca cele mai numeroase și diverse entități biologice de pe Terra, reprezintă organisme omniprezente, care infectează toate entitățile biologice și se pot reproduce în celulele procariotelor și eucariotelor, folosind aparatul lor biosintetic.

Pe calea cercetării profunde a particularităților genomului viral, deocamdată nu a fost evidențiată o genă universală care să lege toate virusurile într-un cadru filogenetic. Actualmente s-a construit o rețea ierarhică modulară de partajare a genelor pentru virosfera formată din 19 module, întrunite în cinci supermodule majore, care reprezintă majoritatea conexiunilor inter-modulare [13].

La nivel celular, virusurile pot declanșa un răspuns în gazdele lor, rezultând interacțiuni complexe și dinamice gazdă-virus, ceea ce determină caracterul lor parazitar bazat pe gazdele lor. Deși în prezent predomină conceptul privind virusurile ca patogeni universali, totuși aplicarea metodelor molecular biologice de cercetare, stau la baza demonstrării că infecția virală poate fi uneori benefică pentru gazdele lor în anumite strategii de infecție [14]. Virusurile litice formează o interacțiune antagonistă cu gazdele lor, care pe parcursul evoluției relațiilor dintre patogeni și gazdele lor, care se dezvoltă spre apariția unor mecanisme și strategii antivirale.

E de menționat că această relație poate fi demonstrată și prin prezența și realizările înregistrate la aplicarea metodei CRISPR-Cas9 este un sistem de editare genetică care permite modificarea precisă a secvențelor de ADN. Metoda este nu doar o tehnologie extrem de versatilă, ci una care se dovedește a fi precisă și din ce în ce mai sigură de utilizat. În ADN-ul bacteriilor există anumite secvențe palindromice repetitive între care sunt memorate secvențe de virusuri. Drept rezultat, un complex molecular al bacteriei elimină virusul proaspăt integrat în ADN-ul acesteia. Cercetătorii au exploatat sistemul CRISPR-Cas9, l-au adaptat de la bacterii la celulele mamiferelor și plantelor, sistemul poate fi folosit pentru a detecta orice secvență ADN de interes și o poate elimina dintr-un genom. În așa mod au fost demonstrate posibilități de aplicare a virusurilor în calitate de factor pozitiv al evoluției și direcție de soluționare a multor probleme genetice.

Pornind de la axioma că forța motrice principală a evoluției este variabilitatea, bazată în special pe transferurile orizontale de gene, totuși evoluția entităților biologice este legată și de transferul orizontal de gene, prin care un organism transferă material genetic către un alt organism care nu este descendentul său. Astfel, transferul orizontal de gene reprezintă un factor important în evoluție încă de la începutul vieții pe Pământ, iar virusurile schimbă gene prin hibridizare, atunci când intră în aceeași celulă a corpului și interacționează prin îmbinarea complementară a lanțurilor de acid nucleic.

Influența virusurilor este evidentă: unii dintre ei sunt simbionții noștri, alții, dimpotrivă, sunt foarte periculoși pentru noi. E de menționat că numărul acestor entități periculoase nu reprezintă o valoare constantă, deoarece apar mereu noi varietăți. În ceea ce privește virusurile aflate la fazele inițiale de dezvoltare a vieții, influența lor asupra evoluției este dificil de urmărit.

Virusurile sunt entitățile biologice cu cea mai mare populație pe Pământ, iar cel mai mare flux informațional genetic din biosferă este de natură virală, creând un depozitar al diversității genetice a planetei. Marea majoritate a virusurilor nu provoacă doar daune vizibile gazdelor lor, ci participă la schimbul de informații genetice între diferite specii biologice, devenind astfel purtători de gene în biosferă [15].

Chiar și în genomul uman, care conține 3,2 miliarde de perechi de nucleotide, secvențele retrovirale endogene reprezintă circa 280 de milioane de perechi de nucleotide (9%), ceea ce constituie 450 de mii de fragmente de genomuri virale, dintre care 40 de mii sunt intacte. Aproximativ jumătate din genomul uman este format din elemente genetice mobile - transpozoni și retrotranspozoni, care se deplasează dintr-un loc în altul în genomul uman, reprezintă o sursă de diversitate genetică și joacă un rol important în evoluție [9].

În lumina informației și discuțiilor anterioare, devine mai extins rolul virusurilor în Natură:

1. Bacteriofagii contribuie la reglarea populațiilor microbiene în medii naturale. Acestea infectează și distrug bacterii, menținând echilibrul ecologic în soluri, bazinele acvatice și alte habitate, asigurând controlul populațiilor bacteriene ajută la prevenirea proliferării excesive a unor specii și facilitând diversitatea entităților microscopice.

2. Virusurile prin intermediul transducției pot transfera material genetic între diferite organisme, ceea ce contribuie la diversitatea genetică și evoluția speciilor.

3. Virusurile influențează dinamica ecosistemelor prin impactul asupra fitoplanctonului și altor microorganisme acvatice. Prin infectarea și distrugerea acestor organisme, ele contribuie la ciclurile de nutrienți și influențează structura și funcția ecosistemelor acvatice.

4. Impactul virusurilor asupra sănătății umane este vast și necesită măsuri de prevenire și tratament, inclusiv vaccinuri și terapii antivirale.

5. Virusurile au aplicații valoroase în biotehnologie, fiind utilizate ca vectori în terapiile genice pentru a introduce material genetic în celule, oferind soluții pentru tratamente ale bolilor genetice și sunt aplicate pentru elaborarea procedurilor tehnologice și biotehnologiilor ramurale.

6. Virusurile au stat la baza dezvoltării vaccinurilor și fortificării sănătății publice și continuă să fie esențiale în prevenirea epidemiilor.

7. Virusurile influențează microbiomul uman, contribuind la menținerea echilibrului microbial în aparatul digestiv și altor organe și sisteme de organe.

Virusurile, grație funcțiilor biogeochimice, molecular-biologice și transferul de material genetic între diferite organisme, pot introduce noi caractere, care stau la baza adaptării la condițiile schimbătoare ale mediului. Astfel, virusurile contribuie la păstrarea biodiversității prin reglarea dimensiunilor populațiilor și menținerea echilibrului ecosistemului [16]. Virusurile sunt responsabile pentru o biodiversitate substanțială și au legături abundente în cadrul ecosistemelor. Fiind paraziți intracelulari obligați, virusurile sunt strâns încorporate în structura rețelei trofice, sunt probabil responsabile pentru un număr semnificativ de interacțiuni ecosistemice și, prin urmare, pot juca un rol important în sănătatea ecosistemelor.

Baculovirusurile – agenți biologici de control a densității populațiilor insectelor dăunătoare

Baculovirusurile reprezintă entități ale familiei Baculoviridae, genomul cărora este constituit din molecule dublucatenare de ADN incluzionate în particule de dimensiuni mari, care infectează reprezentanții clasei insectelor [17]. Familia include patru genuri: Alfabaculovirus cuprinzând nucleopoliedrovirusuri, Betabaculovirus cu granulovirusuri, care parazitează insectele lepidoptere, Gammabaculovirus, cuprinzând nucleopoliedrovirusuri la muștele cu ferăstrău și Deltabaculovirus cu nucleopoliedrovirusuri la țăntari [18]. Nucleocapsidele în formă de tijă, conțin un singur genom circular, sunt acoperite, individual sau în grupuri, de o membrană pentru a forma virioni care sunt ocluzați de o matrice proteică, care formează particula virală. Baculovirusurile pot fi ușor distinși în două grupe: nucleopoliedrovirusuri și granulovirusuri care se deosebesc după structura particulei [19]. Nucleopoliedrovirusurile (fig.1) reprezintă structuri poliedrice (0,5-10 μm), care conțin proteina poliedrică cristalină, care ocluzează un număr mare de virioni, granulovirusurile (fig.2) conțin particule mai mici (0,2-0,4 μm), în matricea proteică a cărora este înglobat doar un singur virion.

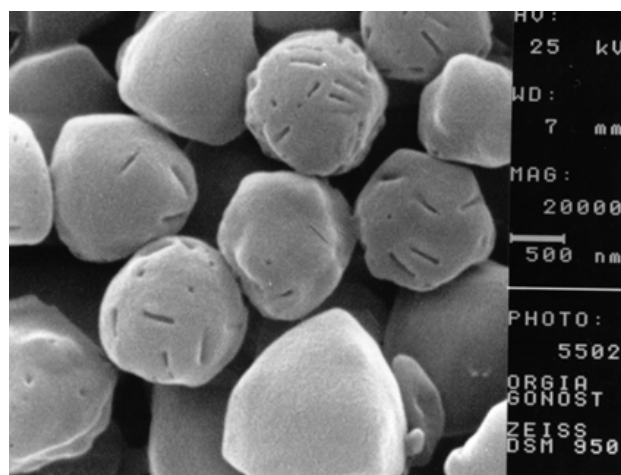


Figura 1. VPV Orgia gonostigma

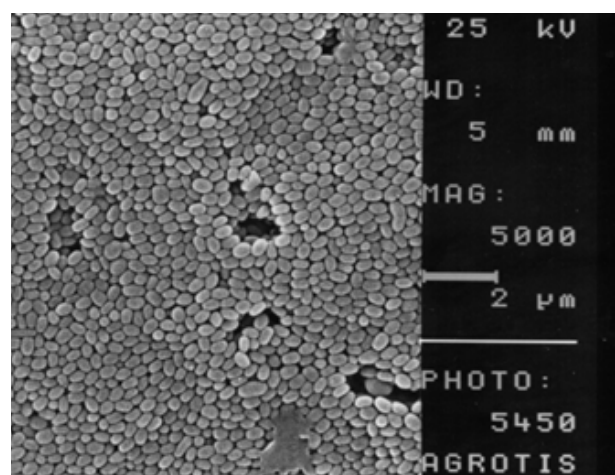


Figura 2. VG Agrotis segetum

Rezultatele cercetărilor profunde a baculovirusurilor au constituit fundamentul elaborării procedeelelor biotehnologice de control a densității populațiilor de insecte dăunătoare. Insectele constituie cel mai mare grup de animale de pe Terra, reprezentând o parte majoră a biodiversității sale și constituie o povară economică majoră asupra producției de culturi agricole. Utilizarea virusurilor entomopatogene pentru controlul dăunătorilor agricoli și vectorii de boli reprezintă una dintre cele mai promițătoare abordări în strategiile durabile de combatere a dăunătorilor. Succesul baculovirusurilor în protecția biologică a plantelor a atins indicatori semnificativi, dar utilizarea lor a provocat manifestarea rezistenței, ceea ce determină necesitatea diversificării și extinderii arsenalul de preparate baculovirale [20]. În ciuda multiplelor produse utilizate, până în prezent rezistența gazdei la baculovirusuri a fost rar raportată, în primul rând la populațiile de molie *Cydia pomonella* tratate cu baculovirusul *Cydia pomonella* granulovirus (CpGV). Rezistențele genetice au apărut independent în diferite populații. Rezistența insectelor a fost depășită prin introducerea diversității genetice CpGV care apare în mod natural din eșantionarea pe teren.

Controlul biologic inoculativ constă în eliberarea intenționată a BCA în mediu, cu așteptarea ca acesta să se înmulțească și să controleze dăunătorul pentru perioade lungi de timp. Controlul biologic conservator se referă la modificarea mediului pentru a proteja și îmbunătăți agentul specific [21]. Metodele inoculative și conservatoare sunt adesea utilizate în controlul biologic folosind prădători și parazitoizi. Cu toate acestea, aceste metode au fost puțin utilizate cu agenți de control microbial. Pentru agenții patogeni virali, au fost efectuate câteva încercări folosind baculovirus pentru combaterea dăunătorilor forestieri

Răspândirea și acțiunea microorganismelor entomopatogene, care stau la postacțiunea acestora în cadrul agroecosistemelor

Virusurile entomopatogene - în calitate de reglatori naturali ai densității insectelor fitofage - sunt tot mai des cercetate și aplicate în protecția biologică a plantelor. Preparatele obținute în baza virusurilor entomopatogene, spre deosebire de insecticidele chimice, au un șir de avantaje. Insecticidele virotice asigură eficiența biologică înaltă; posedă efectul de postacțiune la toate fazele de dezvoltare și controlează densitatea populațiilor la mai multe generații; se caracterizează cu selectivitatea acțiunii fără a afecta dezvoltarea entomofagilor și a insectelor polenizatoare. E deosebit de important că la insecte lipsesc mecanismele ce asigură rezistența lor la acțiunea virusurilor asupra celulei-gazdă; virusurile entomopatogene sunt inofensive asupra omului, animalelor superioare și plantelor; preparatele virotice pot fi aplicate la orice fază de dezvoltare a plantelor; la ele nu se atribuie pericolul acumulării substanțelor toxice în mediul înconjurător și în produsele agricole.

Recunoașterea necesității aplicării virusurilor entomopatogene și a insecticidelor baculovirale, elaborate în baza lor, este determinată de originalitatea calitativă a agenților patogeni, printre care specificitatea și caracterul epizootic al lor constituie avantajele principale față de insecticidele chimice. Manifestarea caracterului epizootic al baculovirusurilor, fiind o determinantă polifactorială, are loc periodic și este condiționată de un șir de factori biotici și abiotici. În scopul utilizării raționale a acestor pârgheii eficiente e necesară

cunoașterea profundă a mecanismelor și legităților ce determină reglarea densității populațiilor de insecte dăunătoare sub acțiunea baculovirusurilor.

Deși în cercetările anterioare a fost determinată schema de dezvoltare a bolilor provocate de virusurile entomopatogene, îndeosebi, de către reprezentanții familiei Baculoviridae (Virusul Granulozei și Virusul Poliedrozei Nucleare), totuși multe aspecte, ce țin de relațiile dintre patogeni și celula-gazdă, precum și transmiterea activă a infecției, deocamdată rămân neclare. Nu sunt stabilite aspectele, ce țin de rezistența baculovirusurilor la acțiunea diferitor factori ai mediului înconjurător.

Pornind de la faptul că epizootologia - ca știință despre cauzele, formele și legitățile fenomenelor de răspândire în masă a infecțiilor în populațiile de animale - abordează nu numai aspecte pur teoretice de dezvoltare a infecțiilor baculovirale, ci urmărește și un șir de scopuri practice, rolul investigațiilor în acest domeniu crește rapid. Devine evident că entomologii nu se limitează doar la stabilirea nivelelor de răspândire a infecției în populațiile de insecte. Permanent se simte tendința de a majora nivelurile de îmbolnăvire a insectelor dăunătoare, sau din contra, de a reduce aceste niveluri în cazul înmulțirii în masă a diferitor specii de insecte. Noi suntem siguri, că cunoașterea mai profundă a legităților de răspândire a infecțiilor virotice condiționează în mare măsură ridicarea eficienței metodelor microbiologice în protecția biologică a plantelor.

Momentul declanșării fenomenelor epizootice se află în dependență strânsă de starea insectei-gazdă, a patogenului și a factorilor mediului exterior. Cercetarea sistemului «virus-gazdă» a permis de a elucida legitățile principale de interacțiune dintre patogen și insectă și de a stabili condițiile optime de desfășurare a procesului de patogeneză și de dirijare cu mortalitatea insectelor gazdă. A fost demonstrată transmiterea transfazică și transovarială a patogenilor, fapt ce determină transmiterea virusurilor de la o generație la alta și asigură păstrarea îndelungată a infecției în cadrul populației, reglând astfel densitatea ei.

Transmiterea orizontală a infecției depinde în mare măsură de rezistența agenților patogeni și de gradul de acțiune a factorilor mediului înconjurător. În condițiile optime ale mediului în cadrul populației de insecte dăunătoare persistă permanent, pe lângă insectele sănătoase, și insecte bolnave sau purtătoare de infecție. Aceasta asigură formarea focarelor de infecție, unde se stabilește un fon de infecție virotică și se înregistrează transmiterea permanentă a patogenului. În componența biocenozelor, îndeosebi în cele naturale, noi am depistat epizootii însoțite cu moartea în masă a insectelor dăunătoare. Deosebit de frecvent asemenea epizootii au fost înregistrate la Omida păroasă a stejarului și la Fluturele alb american. Determinarea prezenței virusului în țesuturile insectei bolnave sau moarte se efectuează prin aplicarea microscopiei cu contrast de fază în cazul VPN și a microscopiei electronice în caz de VG sau a poliedrelor mărunte.

Transmiterea în masă a patogenilor și manifestarea caracterului epizootic al infecției depinde de rezistența lor la acțiunea factorilor mediului înconjurător. În acest scop, luând în considerare receptibilitatea înaltă a baculovirusurilor la factorii extremi ai mediului exterior, îndeosebi la radiația ultravioletă, am întreprins cercetări în vederea determinării gradului de păstrare a patogenilor în funcție de termenul de expoziție la acțiunea razelor solare. Pentru aceasta, virusul sub formă de suspensie a fost stropit pe plante, iar apoi cu aceste frunze se hrăneau larvele de vârstă a doua a Fluturelui alb american. În acest sens devine necesară investigarea unei game mari de indicatori, care, în viziunea noastră, stau la baza eficienței biologice atât în condiții naturale, cât și la aplicarea mijloacelor biologice omologate.

Mortalitatea omizilor se determină în fiecare zi, iar ca indice principal a fost intervalul de timp, care asigură păstrarea a 50% din mortalitatea insectelor la hrănirea lor cu frunze prelucrate în prealabil. Deși activitatea biologică a baculovirusurilor scade rapid pe suprafața foliară a plantelor, totuși infecția virotică se păstrează în mare măsură în sol și în cadavrele insectelor, care rămân în calitate de sursă principală de infectare în componența biocenozelor.

Menținerea activității biologice a baculovirusurilor în condițiile biocenozelor depinde în mare măsură de schimbările temperaturii, ceea ce determină necesitatea efectuării investigațiilor cu aplicarea temperaturilor înalte asupra VPN infectat pe larvele insectelor țintă.

În scopul determinării acțiunii temperaturilor reduse asupra VPN este necesară efectuarea cercetărilor cu aplicarea microscopiei electronice în studierea proceselor de schimbare a ultrastructurii acestui patogen.

Anume în baza transiterii orizontale și verticale a baculovirusurilor în natură acești agenți patogeni se păstrează permanent în componența biocenozelor, reglând în mare măsură densitatea populațiilor de insecte dăunătoare. Ca dovadă a transiterii orizontale a infecției virotice pot servi rezultatele experiențelor recente efectuate în direcția aplicării entomofagilor ca vectori ai baculovirusurilor.



Figura 3. Postacțiunea Virusului Granulozei asupra larvelor *H. cunea*

În condițiile agravării crizei ecologice, virusurile entomopatogene reprezintă agenți de perspectivă pentru aplicarea în protecția biologică a plantelor. În scopul optimizării tehnologiilor de producere și aplicare a baculovirusurilor sunt necesare investigații în domeniul epizootologiei. Cercetările efectuate au demonstrat că baculovirusurile se transmit în mod vertical și orizontal, asigurând persistarea îndelungată a infecției în componența biocenozelor. Rezistența înaltă a baculovirusurilor la factorii mediului înconjurător asigură păstrarea focarelor de infecție virotică și reglarea densității populațiilor de insecte dăunătoare.

În scopul confirmării acestei ipoteze de lucru au fost întreprinse analize de teren a loturilor și plantațiilor de culturi agricole anterior tratate cu preparatul baculoviral Virin-ABB-3 pentru combaterea larvelor de Omida-păroasă a dudului (tabel).

Tabel. Frecvența răspândirii și gradul de infectare a larvelor de Omida-păroasă a dudului cu VG și VPN a *Hyphantria cunea*

Nr. d/o	Localitatea geografică	Cenoza	Frecvența răspândirii <i>H.cunea</i> , %	Prezența infecției virale		
				VG	VPN	VG+VPN
1.	Comuna Lăpușna, raionul Hâncești	Dud tratat anterior	0,89	+	+	-
		Dud tratat actual	1,02	+	—	—
		Dud netratat	78,24	-	-	-
2.	Comuna Micăuți, raionul Strășeni	Dud tratat anterior	1,4	-	-	-
		Dud tratat actual	2,6	+	+	-
		Dud netratat	72,2	-	-	-
3.	Comuna Sângera, Chișinău	Dud tratat anterior	2,5	+	+	-
		Dud tratat actual	1,8	+	+	-
		Dud netratat	81,4	-	-	-
4	Comuna Dubăsarii vechi, raionul Criuleni	Dud tratat anterior	1,8	-	-	-
		Dud tratat actual	3,2	+	-	-
		Dud netratat	65,8	-	-	-

Rolul fagilor în combaterea agenților fitopatogeni

Evoluția bacteriozelor pe fundalul aplicării abuzive a antibioticelor este legată de apariția și dezvoltarea rezistenței bacteriilor, fenomen complex determinat de varii aspecte de mediu, care a condus la interzicerea în mai multe țări a antibioticelor în agricultură [22]. Printre măsurile cu impact redus împotriva bacteriilor fitopatogene se numără utilizarea bacteriofagilor ca instrumente de control biologic. Rezultatele promițătoare și limitările tehnice au fost revizuite în altă parte. Chiar dacă există în mod clar un mare potențial pentru implementarea biocontrolului fagilor în producția agricolă, în prezent există doar un număr limitat de cocktailuri de fagi disponibile comercial pe piața de protecție a plantelor.

Aplicarea fagilor în controlul biologic al bacteriilor fitopatogene, pe fundalul multiplelor probleme, determină necesitatea aprofundării cunoștințelor privind relațiile dintre participanții acestui patosistem complicat [23]. Deși bacteriofagii, ca produse biologice, dispun de mai multe avantaje în comparație cu fungicidele sintetice, totuși ele cedează eficacității mijloacelor chimice. Controlul biologic poate asigura indicatorii necesari prin asigurarea coincidenței specifice a genomului tulpinii bacteriei fitopatogene cu fagul aplicat în calitate agent biologic.

Realizările înregistrate în domeniul nanotehnologiei constituie un fundament și ajutor semnificativ în dezvoltarea protecției plantelor, inclusiv și utilizarea fagilor. Aplicarea nanoparticulelor la elaborarea formelor preparative reprezintă o cale eficientă de sporire a eficacității aplicării bacteriofagilor. Aceasta se explică prin reducerea producției de exopolizaharide, ceea ce împiedică producția de antibiotice și reducerea virulenței. Pe lângă acțiunea directă, se menționează efectele indirecte ale fagilor asupra patogenilor, care se manifestă prin influența puternică asupra ciclurilor biogeochemice.

Pornind de la potențialul înalt al bacteriofagilor în domeniul protecției biologice a plantelor, devin raționale și necesare acțiunile de aprofundare a investigațiilor de sporire a eficacității biologice și a eficienței economice, precum și de evaluare a riscurilor directe și indirecte de mediu [24].

Rolul micovirusurilor în controlul biologic al ciupercilor fitopatogene

Micovirusurile sunt agenți patogeni ai ciupercilor fitopatogene. Relațiile micovirus-fung sunt frecvent asociate cu infecții latente, deși infecția micovirală poate fi, de asemenea, benefică sau dăunătoare gazdei fungice. Micovirusurile au mai multe tipuri de genomuri: în principal genomuri de ARN monocatenar cu sens pozitiv și negativ (ssARN+/-) sau ARN dublu catenar (dsARN) și, doar uneori, genomuri de ADN monocatenar (ssDNA). Aplicarea mixovirusurilor în calitate de agent biologic de control s-a înregistrat la combaterea agentului patogen al unei boli fungice (*Cryphonectria parasitica*), care poate cauza moartea coronamentului castanului [25].

Controlul biologic al patogenului este determinat de transferul orizontal al unui particulelor virale prin anastomoze. Utilizarea micovirusurilor în calitate de mijloace ecologic inofensive se bazează pe tulpina fungică hipovirulentă infectată pentru a transmite micovirusul la tulpina fungică virulentă prin anastomoză hifală. Drept rezultat al fuziunii hifelor se înregistrează moartea celulară [26].

Aplicarea micovirusurilor în controlul biologic al fungilor patogeni se mai extinde prin utilizarea relațiilor complexe a unei tulpini hipovirulente infectate cu micovirus cu plantele gazdă atacate de fungi. Metoda se bazează pe descoperirea micovirusurilor, care pot schimba modul de viață al gazdei fungice dintr-un agent patogen într-o ciupercă microscopică endofită, prezența căreia în plantele gazdă are efecte pozitive asupra creșterii plantei și a protecției împotriva agentului patogen fără virus. Astfel micovirusul suprimă mecanismele ce asigură patogenitatea și virulența și oferă ciupercii capacitatea de a regla funcționalitatea hormonală și de protecție a plantei gazdă, stimulând creșterea plantelor și rezistența lor la infecția cu agenți patogeni micotici.

Aplicarea virusurilor în controlul biologic al bolilor cauzate de virusurile fitopatogene

Problema combaterii virusurilor fitopatogene a frământat permanent agricultorii și cercetătorii preocupați de elaborarea mijloacelor de reducere a impactului acestor organisme dăunătoare. Pornind de la particularitățile relațiilor dintre virusurile fitopatogene și plantele gazdă, factorul determinant în soluționarea acestor probleme reprezintă mecanismele de protecție încrucișată, folosind în acest sens unele grupări intravirale cu capacități de a interfera cu sușa patogenă a virusului, păstrând homeostazia gazdei. Pentru con-

trolul agenților virali aplicând virusurile fitopatogene a fost fundamentată paradigma preimunizării cu un izolat nepatogen sau modera patogen al virusului, care este asemănător vaccinării împotriva mai multor boli virale la om și animalele homeoterme [27]. Protecția încrucișată se utilizează cu tulpini moderat virulente a virusului mozaicului tutunului care protejează planta gazdă de tulpini virulente, care provoacă simptome severe la tutun. În așa mod, tulpinile virusului vaccin, fiind preinoculat la planta gazdă, asigură protecția împotriva infecției ulterioare [28].

Protecția încrucișată a fost utilizată în condiții de câmp deschis pentru a proteja împotriva agenților patogeni ai bolilor virale importante a culturilor legumicole și pomicole. Deși au fost întreprinse cercetări în vederea analizei proceselor de stopare a reproducerii virusurilor fitopatogene, totuși întrebarea în cauză rămâne deschisă. Au fost stabilite unele mecanisme moleculare bazate pe reprogramarea răspunsului imun adaptiv al plantei, ceea ce asigură preimunizarea plantei gazdă.

Fenomenul protecției încrucișate mai este explicat prin utilizarea virusurilor satelit, ARN-urilor satelit și ARN-urilor interferente, care oferă un anumit potențial de temperare a virulenței și agresivității bolii cauzate de izolatul nepatogen. Fenomenul protecție încrucișată împotriva virusurilor fitopatogene mai sunt explicate prin mecanismele implicate în diferite sisteme proteice sau mediate de ARN, care necesită aprofundarea cercetărilor în vederea identificării factorilor, ce asigură mediatizarea reducerii virulenței și agresivității virusurilor fitopatogene cu ajutorul tulpinilor speciale de virusuri.

Concluzii

Deși virusurile sunt percepute mai frecvent în calitate de agenți patogeni ai tuturor entităților biologice, studiile aprofundate asupra reprezentanților regnului virusurilor stau la baza conceptului privind rolul multiplu atât în natură, cât și în viața umană. Înțelegerea și cunoașterea diversității și particularităților virusurilor constituie fundamentul nu numai a sistemelor de combatere a infecțiilor virale, dar și a determinării mecanismelor de funcționare, particularităților biologice, diversității și evoluției, dar și a rolului lor în biosferă.

Virusurile contribuie la echilibrul ecologic, diversitatea genetică și procesele evolutive în natură, în timp ce în viața umană influențează sănătatea, cercetarea științifică și terapiile medicale. Înțelegerea complexității rolurilor virusurilor este esențială pentru a exploata beneficiile lor potențiale și pentru a dezvolta soluții eficiente pentru problemele de sănătate pe care le provoacă. Virusurile constituie o parte semnificativă și foarte diversă a biosferei, reprezentând un rezervor de diversitate genetică și factori determinanți ai evoluției vieții pe Pământ.

Aplicarea metodelor molecular-biologice și biotehnologiilor moderne au demonstrat exemple diverse privind rolul virusurilor pentru limitarea impactului asupra diverselor entități biologice și pentru asigurarea biodiversității și biosecurității. Realizările semnificative înregistrate în agricultura ecologică și regenerativă, biotehnologiile agricole, editarea genelor, promit să revoluționeze, sănătatea publică, agricultura, controlul organismelor dăunătoare, ameliorarea culturilor, elaborarea tehnologiilor pentru diverse procedee tehnologice de obținere a produselor și materialelor.

Menționăm că înțelegerea și conștientizarea rolului virusurilor în modificarea compoziția comunității biologice și extrapolarea consecințelor pentru fluxurile nucleare la scară globală va contribui la constituirea unui concept mai complet al vieții și al reorientării biogeochimice de la scară micro la scară ecosistemică.

Bibliografie:

1. VOLOȘCIUC, L. T. *Biotehnologia producerii și aplicării preparatelor baculovirale în agricultura ecologică*. Chișinău: Mediul ambiant, 2009, 262 p. ISBN 978-9975-9774-5-6.
2. VOLOȘCIUC, L. T. *Probleme ecologice în agricultură*. Chișinău. Bons Offices, 2009, 264 p. ISBN 978-9975-80-304-5.
3. RIZZO, D. M., LICHTVELD, M., MAZET, J. A. K., TOGAMI, E., MILLER S. A. Plant health and its effects on food safety and security in a One Health framework: four case studies. In: *One Health Outlook*. 2021. 3:6. p. 1-9. <https://doi.org/10.1186/s42522-021-00038-7>.

4. HOLMES, E. C. Virus Evolution. *Fields Virology*, 6th Eds. D.M. Knipe, P.M. Howley. Philadelphia. 2013. p. 286-313.
5. VOLOȘCIUC, L. *Agricultura ecologică: aspecte teoretice și valențe practice*. Chisinau. MEC, Combinatul poligrafic central. 2021. 288 p. ISBN 978-9975-62-451-0.
6. VOLOȘCIUC, L., PÎNZARU, B., ȘCERBACOVA, T., LUNGU, A., CURIEV, L. *Aplicarea preparatelor microbiologice în combaterea agenților patogeni la cultura mărului, recomandări practice*. Chișinău, USM, 2023. 77 p. ISBN 978-9975-62-818-1. DOI <https://doi.org/1053040/9789975628181>.
7. VOLOȘCIUC, L. Plant health progress for boosting food security. In: *Фітосанітарна безпека. Міжвідомчий тематичний науковий збірник*. 69. Київ. 2023. с. 374-385. DOI: <https://doi.org/10.36495/PHSS.2023.69.374-386>.
8. VOLOȘCIUC, L., JOSU, V. Fortificarea protecției fitosanitare pentru reducerea impactului schimbărilor climatice. În: *Materialele Conferinței științifice naționale cu participare internațională „Integrare prin cercetare și inovare”*. Chișinău, 2024. p. 321-329. ISBN 978-9975-62-690-3.
9. CODY, W. B., SCHOLTHOF, H. B. *Plant virus vectors 3.0: transitioning into synthetic genomics*. In: *Annu. Rev. Phytopathol.* 2019. 57. p. 211-230.
10. ВЛАСОВ, Ю. И. *Вирус против вируса*. В: Наука и жизнь. 1971. № 7. с. 37-38.
11. ВЛАСОВ, Ю. И. *Вирусные и микоплазменные болезни растений*. М. Колос. 1992. 204 с. ISBN: 5100012250.
12. ДОСПЕХОВ, Б. *Методика полевого опыта*. М. Агропромиздат. 1989. 313 с.
13. SHEN, S., QU, X., ZHANG, W. Infection against infection: parasite antagonism against parasites, viruses and bacteria. In: *Infect. Dis. Poverty*. 2019. 8, p. 49.
14. SVIRCEV, A., ROACH, D., CASTLE, A. *Framing the future with bacteriophages in agriculture*. In: *Viruses*. 2018. 10 p. 218.
15. FENG, C. C., FENG, J. H., WANG, Z. Y., PEDERSEN, C., WANG, X. Q. Identification of the viral determinant of hypovirulence and host range in Sclerotiniaceae of a genomovirus reconstructed from the plant meta-genome. In: *J. Virol.* 2021. 95: e00264–21.
16. WILLIAMS, T., VIRTO, C., MURILLO R., PRIMITIVO, C. Covert Infection of Insects by Baculoviruses. In: *Front. Microbiol.*, 8, 2017. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2017.01337>.
17. VOLOȘCIUC, L. The role and place of GMOs in solving phytosanitary problems. În: *Akados*. 1/2020. p. 33-38.
18. EILENBERG, J., HAJEK, A.E. Editorial overview: insect resistance and susceptibility to pathogens: a multi-faceted topic. In: *Curr. Opin. Insect. Sci.* 2019. 33. p.10-16.
19. МЕЛЛИНГ, К. *Вирусы: скорее друзья, чем враги*. М., Альпина Паблишер. 2018. 568 с.
20. vanLENTEREN, J. C., BOLCKMANS, K., KOHL, J., RAVENSBERG, W. J., URBANEJA, A. Biological control using invertebrates and microorganisms: plenty of new opportunities. In: *Biocontrol*. 2018. 63. P. 39-59.
21. ZAVTONI, P., VOLOȘCIUC, L. *Virin-HS-p preparat biologic pentru combaterea Buhei fructificațiilor la culturile legumicole, recomandări practice*. Chișinău, USM, 2023. 40 p. ISBN 978-9975-62-625-5.
22. SUNDIN, G. W., WANG, N. Antibiotic resistance in plant-pathogenic bacteria. In: *Annu. Rev. Phytopathol.* 2018. 56. p.161–180.
23. HOLTAPPELS, D., FORTUNA, K., LAVIGNE, R., WAGEMANS, J. *The future of phage biocontrol in integrated plant protection for sustainable crop production*. In: *Curr. Opin. Biotechnol.* 2021. 68 p. 60-71.
24. САМОЙЛОВА, А. *Бактериофаги Pseudomonas syringae pv. syringae перспективные в подавлении развития бактериального рака плодовых*. În: *Materialele conferinței științifice internaționale „Genetica, fiziologia și ameliorarea plantelor”* (Ediția a 7-a). Chișinău, 2021. p.327-329. ISBN 978-9975-56-912-5.
25. XIE, J., JIANG, D. *New insights into mycoviruses and exploration for the biological control of crop fungal diseases*. In: *Annu. Rev. Phytopathol.* 2014. 52. p. 45-68.
26. ZHANG, D.X., NUSS, D.L. Engineering super mycovirus donor strains of chestnut blight fungus by systematic disruption of multilocus vic genes. In: *PNAS*. 2016. 113. P. 2062-2067.
27. ВЛАСОВ, Ю. И., ЛАРИНА, Э. И. *Сельскохозяйственная вирусология*. М., Колос, 1982. 239 с.
28. MINOR, P. D. Live attenuated vaccines: historical successes and current challenges. In: *Virology*. 2015. 479, p. 379-392.

N. B.: Cercetările au fost realizate în cadrul Subprogramului 011103 „Elaborarea mijloacelor ecologic inofensive de reducere a impactului organismelor dăunătoare ale culturilor agricole pe fundalul schimbărilor climatice, finanțat de Ministerul Educației și Cercetării.

Date despre autor:

Leonid VOLOȘCIUC, doctor habilitat în științe biologice, consultant științific, USM, Institutul de Genetică, Fiziologie și Protecție a Plantelor, Laboratorul de Fitopatologie și Biotehnologie.

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7475-4310>,

E-mail: leonid.volosciuc@usm.md

Prezentat: 05.08.2025