

УДК: 633.491:631.53.01:661.162.6

В.В. Думанецький

## Вплив десикації та регуляторів росту на рівень вірусної інфекції в насіннєвому матеріалі картоплі

*Інститут картоплярства НААН України, смт Немішаєве, Київська область, Україна*

*E-mail: [dumanetskyi@ukr.net](mailto:dumanetskyi@ukr.net)*

UDC: 633.491:631.53.01:661.162.6

V.V. Dumanetsky

## Impact of Desiccation and Growth Regulators on Viral Infection Seed Potatoes

*Institute of Potato Growing of NAAS of Ukraine, Nemishaieve, Kyivska Oblast, Ukraine*

*E-mail: [dumanetskyi@ukr.net](mailto:dumanetskyi@ukr.net)*

**Реферат:** Розглянуто результати досліджень впливу регуляторів росту Райкат, Радіфарм, препарату з фунгіцидними і антивірусними властивостями Фармайод та десикації на рівень вірусної інфекції в насіннєвому матеріалі картоплі сорту Житниця в умовах Лісостепу України. Встановлено, що видалення картоплиння на 15-ту добу після цвітіння у поєднанні з рістстимулювальними препаратами мінімізує реінфікування бульб вірусами.

**Ключові слова:** картопля, регулятори росту рослин, насінництво, віруси, десикація.

**Abstract:** The article presents results on the influence of plant growth regulators (Raykat, Radipharm), a preparation with fungicidal and antiviral properties (Farmayod), and desiccation on viral infection in seed potatoes 'Zhytynsia' in the Ukrainian Forest-Steppe. It was found that the removal of potato haulms on day 15 after anthesis, in combination with growth-stimulating preparations, minimizes the reinfection of tubers with viruses.

**Key words:** potatoes, plant growth regulators, seed production, viruses, desiccation.

### Вступ

Однією з найбільш деструктивних проблем у селекції та насінництві картоплі залишаються вірусні хвороби. Попри значну увагу до селекції на резистентність, асортимент стійких сортів залишається обмеженим. Підтримання безвірусного стану насіннєвого матеріалу є складним завданням навіть за умови суворого дотримання комплексу антивірусних заходів (Vishnevskaya et al., 2021). Основним дестабілізуючим чинником є одночасне вирощування сортів із різним ступенем сприйнятливості: високочутливі генотипи навіть за просторової ізоляції акумулюють інфекцію, стаючи джерелом вторинного зараження для більш стійких сортів. Через вегетативний спосіб розмноження віруси персистують у бульбах, що зумовлює прогресуюче виродження та повне ураження сорту (Matskevych et al., 2002).

### Introduction

Viral diseases remain one of the most destructive problems in potato breeding and seed production. Despite significant attention to breeding for resistance, the assortment of resistant cultivars remains limited. Maintaining the virus-free status of seed material is a complex task, even with strict adherence to a complex of antiviral measures (Vishnevskaya et al., 2021). The primary destabilizing factor is concurrent cultivation of cultivars with varying susceptibility: highly susceptible genotypes, even provided spatial isolation, accumulate infection and become sources of secondary infection for more resistant cultivars. Because of vegetative reproduction, viruses persist in tubers, leading to progressive degeneration and total infection of cultivars (Matskevych et al., 2002).

Незважаючи на ефективність біотехнологічних методів у системі безвірусного насінництва картоплі, широке впровадження такого матеріалу обмежується його високою вартістю. Це актуалізує пошук способів інтенсифікації використання репродуктивного та продуктивного потенціалу оздоровлених рослин.

Згідно з сучасними дослідженнями Araujo et al. (2019) використання регуляторів росту рослин є перспективним напрямом для корекції фізіологічних процесів картоплі. Їх застосування не лише підвищує продуктивність, а й сприяє формуванню резистентності до несприятливих гідротермічних умов та інфекційних агентів, що є критично важливим для стабілізації насінневої урожайності та якості.

Сучасний стан фітосанітарного моніторингу свідчить про широке розповсюдження спектру вірусних патогенів на картоплі (Moskovets et al., 1975; Melnychuk, 2005). До складу домінуючої вірофлори (Bimrew, Abera, 2023) входять: вірус скручування листків картоплі ВСЛК (Potato leafroll virus, PLPV); віруси картоплі Potato virus Y (PVY), Potato virus X (PVX), Potato virus S (PVS), Potato virus M (PVM), Potato virus A (PVA), а також віруси аukuба-мозаїки (Potato aucuba mosaic virus, PAMV), чорної кільцевої плямистості томатів (Tomato blackring virus, TBRV) та жовтої карликовості картоплі, ВЖКК (Potato yellow dwarf virus, PYDV). Слід зазначити, що в агрокліматичних умовах України найбільшу епідеміологічну небезпеку та шкодочинність становлять X-, Y-, M-, S- та L віруси, які зумовлюють значні втрати врожаю та погіршення сортових якостей насінневого матеріалу картоплі.

Шкодочинність основних вірусів картоплі в Україні характеризується широким діапазоном залежно від ступеня патогенності збудника. За даними дослідників (Abbas, 2021) за руйнівним впливом вірусні хвороби поділяють на легкі форми (дефіцит урожаю 10–15%) та тяжкі, що призводять до втрати до 90 % продукції. Зокрема, ураження насаджень YBK та PLPV зумовлює критичне зниження врожайності (до 90 %), тоді як вплив PVM та PVS є менш агресивним і становить 25–40 та 10–20% відповідно. Встановлено (Abbas et al., 2016) пряму кореляцію між рівнем інфекційного фону та втратами врожаю: збільшення частки рослин картоплі, уражених патогенами з групи тяжких вірусів на 1%, спричиняє зниження загальної врожайності на 0,5–0,6%, що підкреслює критичну необхідність удосконалення елементів технології щодо вирощування здорового посадкового матеріалу.

Despite effective biotechnological methods in virus-free potato seed production, the widespread implementation of such material is limited by its high cost. This highlights the need to find ways to intensify the use of the reproductive and productive potentials of sanitized plants.

According to a recent study by Araujo et al. (2019), the use of plant growth regulators (PGRs) is a promising direction for correcting physiological processes of potatoes. Their application not only increases performance but also improves resistance to unfavorable hydrothermal conditions and infectious agents, which is critical for stabilizing seed yield and quality.

The current phytosanitary monitoring indicates a widespread spectrum of viral pathogens in potatoes (Moskovets et al., 1975; Melnychuk, 2005). The dominant viroflora (Bimrew, Abera, 2023) includes: Potato leafroll virus (PLRV), Potato virus Y (PVY), Potato virus X (PVX), Potato virus S (PVS), Potato virus M (PVM), Potato virus A (PVA), Potato aucuba mosaic virus (PAMV), Tomato black ring virus (TBRV), and Potato yellow dwarf virus (PYDV). It should be noted that in the agro-climatic conditions of Ukraine, the greatest epidemiological danger and harmfulness are posed by X, Y, M, S, and L viruses, which cause significant yield losses and deterioration of the varietal qualities of seed potatoes.

The harmfulness of major potato viruses in Ukraine is highly variable, depending on the virulence of the pathogen. According to researchers (Abbas, 2021), viral diseases are categorized by their destructive impact into mild forms (yield deficit of 10–15%) and severe forms (leading to an up to 90% loss of production). In particular, the infection of crops with PVY and PLRV causes a critical decrease in yield (up to 90%), while PVM and PVS are less aggressive, resulting in a 25–40% and 10–20% loss, respectively. There was a direct correlation between infectious background and yield losses: a 1% increase in the proportion of potato plants infected with severe viruses causes a decrease in total yield by 0.5–0.6%, highlighting the critical need to improve technological elements for growing healthy planting material (Abbas et al., 2016).

Серед комплексу таких заходів є десикація або раннє видалення картоплиння, що дозволяє перервати шлях переміщення вірусів від асиміляційного апарату до дочірніх бульб та застосування сучасних регуляторів росту рослин, що передбачає корекцію морфологічних процесів на етапах онтогенезу картоплі, зокрема під час передпосадкової підготовки бульб та шляхом позакоренових обробок (Tischenko, Yuzyuk, 2017).

Експериментально доведено, що превентивна елімінація картоплиння суттєво знижує вірусне навантаження на насіннєвий матеріал поточного сезону, оскільки значна частина патогенів не встигає мігрувати до столонів. Зокрема, показано, що видалення картоплиння на 65-ту добу після садіння мінімізує ймовірність передачі вірусів афідними векторами (попелицями), що є важливим для отримання сертифікованого насіннєвого матеріалу (Mandal, Das, 2020). Ефективність контролю афідних векторів (Awasthi, Verma, 2017), зокрема переносників вірусу скручування листків картоплі (PLPV) та картопляної молі, значною мірою детермінована вчасним видаленням картоплиння. Встановлено, що десикацію картоплиння необхідно проводити негайно після досягнення критичного порогу чисельності попелиць, який становить 20 особин на 100 складних листків. Зниження ураження насаджень вірусами (скручування листків, тяжка мозаїка) досягається за умови превентивного видалення картоплиння до моменту масового льоту переносників (Khurana, 1999).

Раціональне використання регуляторів росту рослин (PPP) сприяє не лише зростанню врожайності та поліпшенню якісних показників бульб, а й істотно підвищує адаптивний потенціал рослин до біотичних (хвороби, шкідники) та абіотичних стресорів. Так, встановлено ефективність застосування фізіологічно активних сполук в обмеженні поширення та шкодочинності *Phytophthora infestans* de Bary та *Alternaria solani* (Ell. et Mart.) (El-Khair H.A., Wafaa M., Haggag L., 2007).

Незважаючи на доведену ефективність десикації картоплиння та використання PPP для контролю вірусного патогенезу, залишається недостатньо вивченим синергійний ефект поєднання технологічних заходів (строки видалення картоплиння) із застосуванням сучасних регуляторів росту для максимальної реалізації продуктивності та якості насіннєвих бульб. Це зумовило необхідність проведення комплексних досліджень, спрямованих на

Such measures include desiccation or early haulm removal, preventing the migration of viral particles from the foliage to the newly formed tubers, and the application of modern PGRs, which involves the correction of morphophysiological processes during potato ontogeny, particularly during pre-planting tuber preparation and via foliar treatments (Tischenko, Yuzyuk, 2017).

It was experimentally proven that preventive haulm elimination significantly reduces the viral load on the current season's seed material, as a significant portion of pathogens does not have time to migrate to stolons. Specifically, it was shown that removing haulms on day 65 after planting minimizes the probability of virus transmission by aphid vectors, which is important for obtaining certified seed material (Mandal, Das, 2020). The effectiveness of controlling aphid vectors (Awasthi, Verma, 2017), particularly carriers of PLRV and potato tuber moth, is largely determined by timely haulm removal. It was established that haulm should be desiccated immediately after reaching the critical threshold of aphid population, which is 20 individuals per 100 compound leaves. A reduction in crop infection with viral diseases (leaf roll, rugose mosaic) is achieved through preventive haulm removal before the mass flight of vectors (Khurana, 1999).

The rational use of PGRs not only increases yields and improves tuber quality but also significantly enhances plants' adaptability to biotic (diseases, pests) and abiotic stressors. For instance, the effectiveness of physiologically active compounds in limiting the spread and harmfulness of *Phytophthora infestans* de Bary and *Alternaria solani* (Ell. et Mart.) J. et Gr. Was demonstrated (El-Khair H.A., Wafaa M., Haggag L. 2007).

Despite the proven effectiveness of haulm desiccation and PGRs for controlling viral pathogenesis, the synergistic effect of combining technological measures (timing of haulm removal) with the application of modern PGRs for maximizing the productivity and quality of seed tubers remains insufficiently studied. This necessitated comprehensive research aimed at optimizing the elements of growing basic seed potatoes.

оптимізацію елементів вирощування базової насінневої картоплі.

Метою роботи було експериментальне підтвердження ефективності поєднання регуляторів росту і оптимізованого терміну десикації картоплиння як факторів підвищення стійкості та фітосанітарної якості насінневого матеріалу картоплі.

## Методика

Дослідження проводили на базі Калинівсько-Корделівського опорного пункту Інституту картоплярства НААН (Вінницька обл.). Ґрунт дослідної ділянки – чорнозем лучний середньосуглинковий.

Агрохімічна характеристика орного шару ґрунту свідчить про його придатність для вирощування насінневої картоплі: вміст гумусу (за Тюріним) – 3,1–4,0 %; рН 5,1–5,5; легкогідролізований азот (за Корнфілдом) – 20 мг/100 г ґрунту, рухомий фосфор ( $P_2O_5$ ) за Чиріковим – 10,1–15,0 та обмінний калій ( $K_2O$ ) за Чиріковим – 8,1–12,0 мг на 100 г ґрунту відповідно.

Технологія вирощування картоплі базувалася на галузевих рекомендаціях для зони Лісостепу, адаптованих до вимог виробництва базового насінневого матеріалу. Для мінімізації ризиків вірусного ураження забезпечено сувору просторову ізоляцію: дослідні ділянки були розміщені всередині масивів озимих зернових культур за відсутності інших насаджень пасльонових у радіусі, передбаченому нормативами насінництва (Bondarchuk et al., 2019).

Елементи технології вирощування: попередник – пшениця озима; обробіток ґрунту – зяблева оранка, весняна передпосадкова культивування, нарізання борозн з наступним дисковим загортанням; *система удобрення* – локальне внесення нітроамофоски під час садіння (5 ц/га у фізичній вазі або  $N_{80}P_{80}K_{80}$  кг д.р./га, у фазі повних сходів підживлення аміачною селітрою  $N_{34,5}$  кг д.р./га; догляд за насадженнями – дворазовий міжрядний обробіток (культивування з боронуванням та підгортання); система захисту – протруювання насінневого матеріалу препаратами: Еместо-Квантум, 0,25 л/т та Селес Топ, 0,5–0,7 л/т – для контролю шкідників та хвороб; інсекто-афіцидний контроль: систематичні обробки інсектицидом Енжіо 247 SC – 0,18 л/га, від фази появи сходів з інтервалом 8–10 діб (для недопущення масового заселення афіцидними векторами); фунгіцидний захист: профілактичні

The purpose of this study was to experimentally verify the effectiveness of combining growth regulators with optimized timing for potato haulm desiccation as factors for increasing the resistance and phytosanitary quality of seed potato material.

## Methods

The study was conducted at Kalynivka-Kordelivka Support Station of the Institute of Potato Growing of NAAS (Vinnytska Oblast). The soil in the experimental plots is a leached medium-loamy chernozem. The agrochemical characteristics of the arable layer indicate its suitability for seed potato production: the humus content (by Tyurin's method) is 3.1–4.0%; pH is 5.1–5.5; the easily hydrolyzable nitrogen content (by Cornfield's method) is 20 mg/100 g of soil; the mobile phosphorus ( $P_2O_5$ ) content (by Chyrikov's method) is 10.1–15.0 mg/100 g; and the exchangeable potassium ( $K_2O$ ) content (by Chyrikov's method) is 8.1–12.0 mg/100 g of soil.

The potato cultivation technology was based on industry guidelines for the forest-steppe zone, adapted to the requirements for basic seed material production. To minimize the risks of viral infection, strict spatial isolation was ensured: the experimental plots were placed within winter cereal massifs, with no other solanaceous plantings within the radius stipulated by seed production standards (Bondarchuk et al., 2019).

The technological elements were as follows: winter wheat was sown as the forecrop; the tillage included autumn plowing, spring pre-planting cultivation, furrowing followed by disk covering; fertilization included local application of complex NPK fertilizer during planting (500 kg/ha or  $N_{80}P_{80}K_{80}$  kg a.i./ha); top-dressing with ammonium nitrate ( $N_{34.5}$  kg a.i./ha) at the full emergence phase; the crop maintenance was double inter-row cultivation (tilling with harrowing and hilling); the plant protection included seed treatment with Emesto Quantum (0.25 L/t) and Celest Top (0.5–0.7 L/t) for pest and disease control, systematic treatments with Engio 247 SC (0.18 L/ha) starting from the emergence phase at 8–10 day intervals for insecticide and aphid control to prevent mass colonization by aphid vectors, preventive and curative anti-fungal

та лікувальні обробки препаратом Nativo 75 WG ВГ 0,05 кг/га проти фітофторозу та альтернаріозу; гербіцидний контроль: застосування бакової суміші Квін Стар Макс, КЕ 1 л/га + Тівітус ВГ 0,05 кг/га. Для штучного припинення вегетації та прискороного дозрівання бульб застосовували десикант Реглон Супер, в.р.к. (д.р. дикват дипромід, 150 г/л). Обробку проводили шляхом дрібнокрапельного обприскування вегетативної маси з нормою витрати препарату 2,0 л/га. Термін внесення визначали за досягнення цільової структури врожаю насінневої фракції.

Об'єкт дослідження: базовий насінневий матеріал картоплі сорту Житниця, попередньо оздоровлений методом культури апікальних меристем *in vitro* з наступним розмноженням у розсаднику добазового насінництва.

Для виявлення вірусної інфекції у вегетаційний період та післязбиральний використовували метод твердо фазного імуноферментного аналізу (подвійний сандвіч-варіант DAS-ELISA), комерційних тест-систем фірми LOEWE Німеччина, з реєстрацією на рідері Thermo LabSystems Opsis MR (США) за програмного забезпечення Dynex Revelation Quicklink за довжини хвиль 405/630 нм. Порогове значення оптичної густини, яке відрізняє позитивні результати ферментативної реакції від значення фону, визначали для кожного планшета окремо.

У технологічній схемі вивчали ефективність застосування комплексу регуляторів росту та біостимуляторів: Радіфарм та Райкат – спрямовані на інтенсифікацію коренеутворення, стимуляцію вегетативного росту та підвищення адаптивного потенціалу рослин; Фармайод – препарат із фунгіцидними, бактерицидними та антивірусними властивостями, застосований для стабілізації фітосанітарного фону та обмеження поширення патогенів у насадженнях.

Розміщення варіантів методом накладення у триразовій повторності. Загальна площа під дослідом – 0,28 га, облікова – 22,5 м<sup>2</sup>. Схема садіння – 70x35 см, за густоти стояння рослин 55 тис/га.

Дослід закладали за схемою:

1. Контроль – обприскування водою.
2. Райкат – обробка бульб + позакореневе (сходи).
3. Радіфарм – обробка бульб + позакореневе (сходи).
4. Фармайод – обробка ґрунту + позакореневе два рази у фази бутонізації та квітання.
5. Райкат+Фармайод (поєднання обробок).

treatments with Nativo 75 WG (0.05 kg/ha) against late blight and early blight; and herbicide control with tank mix of Queen Star Max (1 L/ha) + Titus WG (0.05 kg/ha). For the artificial cessation of vegetation and accelerated tuber ripening, the desiccant Reglone Super, SL was applied (active ingredient: diquat dibromide, 150 g/L). The treatment was performed via fine-droplet spraying of the foliage at a rate of 2.0 L/ha. The application timing was based on reaching the target structure of the seed fraction yield.

The study object was basic seed material of potato 'Zhytnytsia', previously sanitized via *in vitro* apical meristem culture followed by propagation in a pre-basic seed nursery.

To detect viral infection during the growing season and post-harvest period, the double-antibody sandwich enzyme-linked immunosorbent assay (DAS-ELISA) was used. Commercial test kits from LOEWE (Germany) were employed, with results registered on a Thermo LabSystems Opsis MR reader (USA) using Dynex Revelation Quicklink software at wavelengths of 405/630 nm. The optical density threshold distinguishing positive enzymatic reaction results from the background was determined separately for each plate.

The effectiveness of a complex of growth regulators and biostimulants was evaluated: Radifarm and Raykat (aimed at intensifying root formation, stimulating vegetative growth, and boosting adaptability) and Farmayod (a preparation with fungicidal, bactericidal, and antiviral properties used to stabilize the phytosanitary background and limit pathogen spread in the plantings).

The experimental variants were arranged using the overlay method in three replications. The total area of the experimental plot was 0.28 ha, with the record area of 22.5 m<sup>2</sup>. The planting scheme was 70 × 35 cm, with a plant density of 55,000 plants/ha.

The experiment had the following design:

1. Control – spraying with water.
2. Raykat – tuber treatment + foliar application (emergence phase).
3. Radifarm – tuber treatment + foliar application (emergence phase).
4. Farmayod – soil treatment + foliar application twice during budding and anthesis.
5. Raykat + Farmayod (combined treatments).

6. Радіфарм+Фармайод (поєднання обробок).

Другий блок досліджень проводили відповідно до схеми із застосуванням десикації – Реглон Супер, 2 л/га.

Оцінювання фітосанітарного стану насаджень картоплі базувалося на поєднанні візуальних та лабораторних методів. Встановлено, що візуальна діагностика є дієвою лише за наявності чітко вираженої симптоматики. Однак, зважаючи на здатність вірусів переходити у латентну форму під впливом зовнішніх умов (зокрема, температурних режимів) або внаслідок змішаних інфекцій, цей метод не гарантує повної достовірності. Для отримання об'єктивної картини видового складу вірусів та виявлення прихованого зараження було застосовано метод DAS-ELISA. Це дозволило нівелювати ризики неконтрольованого розмноження хворої картоплі, які виникають за використання виключно візуальної оцінки (Furdyha et al., 2024).

## Результати та обговорення

Згідно з результатами досліджень 2024–2025 рр., спрямованих на визначення ступеня ураження насаджень базової насінневої картоплі, візуальний моніторинг впродовж вегетації не виявив характерних морфологічних симптомів вірусних хвороб. Для отримання об'єктивних даних було проведено тестування рослин методом DAS-ELISA у динаміці: фази повних сходів (BBCH 10–19), бутонізації (BBCH 50–59), цвітіння (BBCH 60–69). Встановлено, що у досліджуваних зразках збудники вірусів PVM, PVS, PLRV та PVY були відсутні.

Результати післязбирального тестування методом індексації бульб з наступним проведенням імуноферментного аналізу (ІФА) насінневої фракції класу супереліта (у післязбиральний період 2024 р. без десикації картоплиння) наведено в табл. 1. У контрольному варіанті рівень латентного ураження вірусом PVM становив 2,5%. Застосування регуляторів росту Райкат та Радіфарм сприяло зниженню цього показника до 1,0–1,3%.

6. Radifarm + Farmayod (combined treatments).

The second block of the study had the same design plus desiccation with 2 L/ha of Reglone Super.

The phytosanitary condition of the potato plantings was assessed visually and by laboratory methods. It was established that visual diagnostics are effective only in the presence of clearly expressed symptoms. However, given the ability of viruses to transition into a latent form under the influence of environmental conditions (particularly temperature) or as a result of mixed infections, this method is not very reliable. To obtain an objective picture of the virus species composition and detect hidden infection, DAS-ELISA was applied. This allowed for the mitigation of risks associated with the uncontrolled propagation of infected potatoes that arise when only visual assessment is used (Furdyha et al., 2024).

## Results and Discussion

According to the results of the 2024–2025 research aimed at determining the infection rate of basic seed potato plantings, visual monitoring during the growing season did not reveal characteristic morphological symptoms of viral diseases. To obtain objective data, plants were tested using DAS-ELISA over time: at full emergence (BBCH 10–19), budding (BBCH 50–59), and anthesis (BBCH 60–69). It was found that there was no PVM, PVS, PLRV, or PVY in the studied samples.

The results of post-harvest testing using tuber indexing followed by DAS-ELISA of the super-elite seed fraction (in the 2024 post-harvest period, without haulm desiccation) are summarized in Table 1. In the control, the level of latent PVM infection was 2.5%. Raykat and Radifarm reduced this parameter to 1.0–1.3%. The highest efficiency was recorded for Farmayod applied both alone (–1.5% infection) and in combination with PGRs (–1.5–1.7%). Regarding PVS, with a control value of 1.5%, the studied preparations reduced the infection level by 1.0–1.3%. Notably, PLRV and PVY were not detected in the studied samples.

**Таблиця 1** Післязбиральне тестування базового насіннєвого матеріалу на зараженість збудниками вірусних хвороб, %.  
**Table 1.** Post-harvest testing of basic seed potato material for viral pathogen incidence, %.

Варіант / Treatment	Віруси картоплі / Potato viruses									
	MBK / PVM	± до контролю / ± to the control	SBK / PVS	+ до контролю / + to the control	MBK / PVM	+ до контролю / + to the control	± до варіанту без видалення / ± no haulm removal	SBK / PVS	+ до контролю / + to the control	± до варіанту без видалення / ± no haulm removal
	без видалення картоплиння / No haulm removal				з видаленням картоплиння / Haulm removal					
Супереліта, 2024 рік / Superelite, 2024										
Контроль / Control	2.5	-	1.5	-	1.5		-1.0	1.2		-0.3
Райкат / Raykat	1.5	-1.0	0.5	-1.0	1.0	-0.5	-0.5	0.3	-0.9	-0.2
Радіфарм / Radifarm	1.2	-1.3	0.5	-1.0	0.8	-0.7	-0.4	0.2	-1.0	-0.3
Фармайод / Farmayod	1.0	-1.5	0.4	-1.1	0	0	0	0	0	0
Райкат+Фармайод / Raykat+ Farmayod	1.0	-1.5	0.2	-1.3	0	0	0	0	0	0
Радіфарм+Фармайод / Radifarm+ Farmayod	0.8	-1.7	0.2	-1.3	0	0	0	0	0	0
НІР <sub>0,05</sub> /LSD <sub>0,05</sub>	0.48		0.84		0.91			0.83		
Супереліта, 2024 рік / Superelite, 2024										
Контроль / Control	3.0		2.0	-	2.5		-0.5	1.0		-1.0
Райкат / Raykat	2.8	-0.2	0.8	-1.2	1.3	-1.2	-1.5	0.1	-0.9	-0.7
Радіфарм / Radifarm	2.2	-0.8	1.1	-0.9	1.0	-1.5	-1.2	0.4	-0.6	-0.7
Фармайод / Farmayod	2.0	-1.0	0.5	-1.5	0.1	-2.4	-1.9	0	0	0
Райкат+Фармайод / Raykat+ Farmayod	2.0	-1.0	0.5	-1.5	0.2	-2.3	-1.8	0	0	0
Радіфарм+Фармайод / Radifarm+ Farmayod	1.5	-1.5	0.4	-1.6	0.1	-2.4	-1.4	0	0	0
НІР <sub>0,05</sub> /LSD <sub>0,05</sub>	0.98		1.05		1.63			0.71		

Найвищу ефективність продемонстрував препарат із фунгіцидно-бактерицидними властивостями Фармайод: як у чистому вигляді (-1,5% ураження), так і в поєднанні з регуляторами росту (-1,5–1,7%). Щодо вірусу SBK, при контрольному значенні 1,5%, використання досліджуваних препаратів дозволило зменшити рівень інфікування на 1,0–1,3%. Примітно, що віруси L та Y у досліджуваних зразках виявлені не були. Найвищий рівень оздоровлення зафіксовано у рослин картоплі сорту Житниця за умови видалення картоплиння. За використання регуляторів росту Райкат та Радіфарм зниження зараження рослин PVM та PVS становило 0,5; 0,7% та 0,9; 1,0 % відповідно (у контролі 1,5 (PVM); 1,2 (PVS)).

Проведення десикації на 15-ту добу після цвітіння стало ключовим агротехнічним чинником, що дозволило знизити рівень латентного ураження PVM на 0,4–1,0%, PVS на 0,2–0,3% залежно від схеми обробки. Найвищу ефективність продемонстрували варіанти із застосуванням препарату Фармайод як у чистому вигляді, так і за поєднання із регуляторами росту. У цих варіантах збудників PVM та PVS латентній формі виявлено не було. Слід зазначити, що віруси картоплі L та Y були повністю відсутні у всіх досліджуваних зразках.

Післязбиральне тестування бульб насінневої матеріалу класу еліта (без десикації картоплиння) у 2025 році виявило суттєву залежність рівня латентної інфікованості від схеми обробки (табл.1). У контрольному варіанті ураженість вірусом PVM досягала пікового значення – 3,0%. Застосування регуляторів росту Райкат та Радіфарм дозволило знизити цей показник до 2,2–2,8%. Найвищу ефективність продемонстрував препарат Фармайод, який забезпечив мінімальні рівні інфікування: 2,0% (у чистому вигляді та з Райкатом) та 1,5% (у поєднанні з Радіфармом). Використання PPP сприяло зниженню ураженості SBK на 0,9–1,6% (за контрольного показника 2,0%). Найменший рівень інвазії збудником SBK (0,5; 0,4%) зафіксовано у варіанті із застосуванням Фармайод та Райкат+Фармайод.

Застосування препарату Фармайод та у поєднанні з регуляторами росту Райкат та Радіфарм на фоні десикації забезпечило низькі показники інфікованості: рівень ураження вірусом PVM становив 0,1; 0,2 та 0,1%, PVS у варіантах з використанням Райкат та Радіфарм – 0,1 та 0,4% відповідно (у контролі без обробок ці показники сягали 2,5% для MBK та 1,0% для SBK). Встановлено, що за десикації загальний рівень латентного ураження рослин PVM знизився на 0,5–1,9 %, PVS – на 0,7–1,0% залежно від варіанта досліджу. Найбільш ефективним було

The best sanitization level was recorded in 'Zhytnytsia' plants in the haulm removal experiments. When Raykat and Radifarm were used, the infection of plants with PVM and PVS was 0.5; 0.7% and 0.9; 1.0% respectively (compared to the control: 1.5% for PVM and 1.2% for PVS).

Desiccation on post-anthesis day 15 became a key agrotechnical factor, allowing for a reduction in the latent infection level of PVM by 0.4–1.0% and PVS by 0.2–0.3%, depending on the treatment. The highest efficiency was recorded with Farmayod applied both alone and in combination with PGRs. In these experiments, no latent PVM and PVS were detected. It should be noted that there were no PLRV and PVY at all in the studied samples.

Post-harvest testing of elite seed tubers (without haulm desiccation) in 2025 revealed a significant dependence of the latent infection level on the treatment (Table 1). In the control, PVM infection reached a peak value of 3.0%. Raykat and Radifarm reduced this parameter to 2.2–2.8%. The highest efficiency was intrinsic to Farmayod, which ensured minimum infection levels: 2.0% (alone and in combination with Raykat) and 1.5% (in combination with Radifarm). PGRs contributed to a 0.9–1.6% reduction in PVS infection (2.0% in the control). The lowest PVS invasion (0.5; 0.4%) was recorded in the experiments with Farmayod and Raykat + Farmayod.

Farmayod, both alone and in combination with Raykat or Radifarm, supplemented with the desiccation procedure, ensured low infection rates: PVM infection levels were 0.1%, 0.2%, and 0.1%, respectively, for PVS; in the experiments with Raykat and Radifarm, they were 0.1% and 0.4%, respectively (in the untreated control, these figures reached 2.5% for PVM and 1.0% for PVS). It was found that desiccation decreased the overall latent infection level by 0.5–1.9% for PVM and 0.7–1.0% for PVS, depending on the experimental variant. Farmayod was most effective; in these experiments, PVS was not detected. The studied preparations ensured high phytosanitary quality of the 'Zhytnytsia' basic seed potato material and its compliance with standards.

The Raykat- and Radifarm-attributed reduction in viral infection levels (down to 0.2–1.7% for PVM) aligns with the concept of

застосування Фармайоду, у цих варіантах збудника SBK не виявили. Використання досліджуваних препаратів забезпечило високу фітосанітарну якість базового насінневого матеріалу сорту картоплі Житниця та його відповідність стандартам.

Зниження рівня ураження вірусами при застосуванні препаратів Райкат та Радіфарм (до 0,2–1,7%, PVM) узгоджується з концепцією індукованої стійкості. Сучасні дослідження (Zhu, 2022) доводять, що PPP активують сигнальні шляхи імунітету рослин, що уповільнює реплікацію вірусів у клітинах. У нашому дослідженні цей ефект був максимально реалізований завдяки поєднанню стимуляції росту з антисептичним захистом.

Проведене дослідження підтвердило, що видалення картоплиння є критично важливим агротехнічним заходом для зниження вірусного навантаження. Отримані дані дозволяють стверджувати, що рання десикація картоплиння виконує роль механічного бар'єру, що перериває відтік асимілятів разом із віріонами до бульб. Водночас застосування Фармайоду діє за принципом «хімічного фільтру». Завдяки високій біоцидній активності діючої речовини (активного йоду), препарат забезпечує стерилізацію поверхні рослин та мікротравм епідермісу. Це запобігає проникненню вірусів у внутрішні тканини під час живлення комах-переносників, що суттєво знижує ризик горизонтального поширення інфекції.

Наші результати щодо зниження інфікованості PVM на 1,2–2,4% за раннього видалення картоплиння узгоджуються із висновками інших авторів (Bondarchuk, 2018; Smith et al. 2020), які зазначають, що віруси потребують певного часу для переміщення з листової поверхні до бульб. Припинення низхідного току асимілятів на 15-ту добу після цвітіння фактично ізолює новий урожай від поточної вегетаційної інфекції, що підтверджує нашу тезу про механічний бар'єр.

Ефективність використання Фармайоду як «хімічного фільтру» знаходить підтвердження в працях дослідників, які вивчали біоцидні властивості йодовмісних сполук проти фітопатогенів. Так, показано, що активний йод має високу окислювальну здатність, що призводить до інактивації віріонів безпосередньо в місцях механічних пошкоджень тканин (Ivanov, Petrova, 2021). Це пояснює відсутність латентної інфекції у наших варіантах із застосуванням Фармайоду, оскільки препарат нівелює можливість інвазії через контактний шлях або під час живлення попелиць.

induced resistance. A recent study (Zhu, 2022) proved that PGRs activate plant immune signaling pathways, slowing down virus replication in cells. In our study, this effect was maximized through the combination of growth stimulation and antiseptic protection.

The study confirmed that haulm removal is a critical agrotechnical measure for reducing the viral load. The data suggest that early haulm desiccation acts as a mechanical barrier, interrupting the outflow of virion-containing assimilates to tubers. At the same time, Farmayod acts as a "chemical filter." Due to the high biocidal activity of its active ingredient (active iodine), the preparation sterilizes the plant surface and epidermal micro-injuries. This prevents viruses from penetrating internal tissues when insect vectors feed on plants, significantly reducing the risk of horizontal infection spread.

Our findings regarding the 1.2–2.4% reduction in PVM infection in the early haulm removal experiments are consistent with the findings of other authors (Bondarchuk, 2018; Smith et al., 2020), who noted that viruses require a certain time to move from the leaf surface to tubers. Terminating the downward flow of assimilates on post-anthesis day 15 effectively isolates the new yield from the current seasonal infection, confirming our idea of a mechanical barrier.

The effectiveness of Farmayod as a "chemical filter" is supported by researchers who studied the biocidal properties of iodine-containing compounds against phytopathogens. Specifically, it was shown that active iodine possesses high oxidizing capacity, leading to the inactivation of virions directly at the sites of mechanical tissue damage (Ivanov, Petrova, 2021). This explains the absence of latent infection in our experiments with Farmayod, as the preparation eliminates the possibility of invasion via contact or during aphid feeding.

## Висновки.

Встановлено, що використання досліджуваних препаратів Райкат, Радіфарм, Фармайод та їх поєднання на фоні десикації дозволяє знизити рівень ураження PVM на 1,2-2,4%, PVS на 0,6-0,9% (у контролі без обробок ці показники сягали 2,5% для PVM та 1,0 % для PVS). За десикації картоплиння сорту Житниця загальний рівень латентного ураження рослин PVM знизився на 0,5-1,9%, PVS на 0,7-1,0 % залежно від варіанта досліду. Це свідчить про підвищення загальної резистентності рослин до вірусного навантаження за умови стимуляції фізіологічних процесів PGR.

**Заява про доступність даних:** усі дані наведені в тексті статті.

**Конфлікт інтересів:** Автор заявляє про відсутність конфлікту інтересів.

**Фінансування:** Дослідження проводили в рамках завдання ПНД «Картоплярство» 21.00.03.09П Встановлення закономірності комплексного впливу регуляторів росту, рідких добрив, позакореневого підживлення та зрошення в умовах Південного Полісся на процес формування насінневої фракції оздоровленої картоплі. № держреєстрації 0124U000482.

## Conclusions.

The studied preparations — Raykat, Radifarm, and Farmayod — as well as their combinations supplemented with the desiccation procedure were found to reduce the infection rates of PVM by 1.2–2.4% and PVS by 0.6–0.9% (compared to the untreated control, where these parameters reached 2.5% for PVM and 1.0% for PVS). Due to desiccation of 'Zhytnytsia' potato variety haulm, the overall level of latent plant infection decreased by 0.5–1.9% for PVM and by 0.7–1.0% for PVS, depending on the experimental variant. This indicates an increase in the general resistance of plants to viral load when physiological processes are stimulated by PGRs.

**Data Availability Statement:** All data are included in the article.

**Conflict of Interest:** The author declare that there is no conflict of interest.

**Funding:** This study was conducted within the Scientific Research Program "Potato Growing" (Project No. 21.00.03.09P): "Establishing the Patterns of the Complex Influence of Growth Regulators, Liquid Fertilizers, Foliar Feeding, and Irrigation in the Southern Polissia on the Formation of the Seed Fraction of Sanitized Potatoes." State Registration No. 0124U000482.

## References

- Abbas, A., Arif, M., & Ali, M. A. (2016). Review paper on Potato leaf roll virus (PLRV) of potato in Pakistan. *Asian Journal of Agriculture and Biology*, 4, 77–86.
- Abel, A., Mukasa, S. B., BAREKYE, A., & Rubaihayo, P. R. (2020). Interactive effects of Potato virus Y and Potato leafroll virus infection on potato yields in Uganda. *Open Agriculture*, 5(1), 726–739. <https://doi.org/10.1515/opag-2020-0073>
- Araujo, F. F., Santos, M. N., Costa, L. C., Moreira, K. F., Araujo, M. N., Martinez, P. A., & Finger, F. L. (2019). Changes on potato leaf metabolism and anatomy induced by plant growth regulators. *Journal of Agricultural Science*, 11(7), 139–147. <https://doi.org/10.5539/jas.v11n7p139>
- Awasthi, L. P., & Verma, H. N. (2017). Current status of viral diseases of potato and their ecofriendly management: A critical review. *Virology Research Reviews*, 1(4), 1–16. <https://doi.org/10.15761/VRR.1000122>
- Bimrew, C., & Abera, M. (2023). Review on classification and nomenclature of viruses. *International Journal of Applied Agricultural Sciences*, 11(2), 11–23. <https://doi.org/10.11648/j.ajls.20231102.11>
- Bondarchuk, A. A. (2018). Scientific foundations of potato seed production in Ukraine. *Visnyk Ahrarnoi Nauky*, 10, 25–32. [in Ukrainian]
- Bondarchuk, A. A., Koltunov, V. A., Oliinyk, T. M., Furdyha, M. M., Vyshnevskaya, O. V., Osypchuk, A. A., Kupriianova, T. M., & Zakharchuk, N. A. (2019). *Potato growing: Research methodology*. TOV «TVORY». [in Ukrainian]
- Furdyha, M. M., Vyshnevskaya, O. V., Oliinyk, T. M., Zakharchuk, N. A., Samoilenko, O. V., Dmytrenko, V. P., Shmun, S. A., Riazantsev, M. V., Demchuk, I. V., & Huliak, N. V. (2024). *Methods for determining sowing qualities and post-harvest evaluating direct progeny of seed potatoes*. TOV «TVORY». [in Ukrainian]

- Ivanov, A. A., & Petrova, I. V. (2021). Biocidal activity of iodine-based compounds in the protection of agricultural crops against viral and bacterial pathogens. *Journal of Agricultural Science and Technology*, 23(4), 112–120.
- Kharchenko, Yu. M., Bondus, R. O., Mishchenko, L. T., Hordiienko, V. V., & Koval, V. S. (2019). A study of potato collection for resistance to viral diseases in the Forest-Steppe of Ukraine. *Kartopliarstvo*, 44, 71–93. [in Ukrainian]
- El-Khair, H. A., Wafaa, M., & Haggag, L. (2007). Application of some natural compounds for management of potato late and early blights. *Research Journal of Agricultural and Biological Sciences*, 3(3), 166–175.
- Khurana, S. M. P. (1999). Virus and virus-like diseases of potato and their control. In *Diseases of horticultural crops: Vegetables, ornamentals and mushrooms*. Indus Publishing Company.
- Mandal, M., & Das, S. K. (2020). Effect of intra row spacing, dates of haulm cutting and fertilizer dose on disease free quality seed tuber production of potato (*Solanum tuberosum* L.) under New Alluvial Zone of West Bengal. *Journal of Applied and Natural Science*, 12(1), 1–8. <https://doi.org/10.31018/jans.v12i1.2204>
- Matskevych, V. V. (2002). Comparative evaluation of methods for the recovery of potato varieties from viral infection. *Kartopliarstvo*, 31, 112–113. [in Ukrainian]
- Melnychuk, M. D. (2005). *Phytovirology*. Polihrafkonsal'tynh. [in Ukrainian]
- Moskovets, C. N., Bobyr, A. D., Hlushak, L. Ye., & Onishchenko, F. N. (1975). *Viral diseases of agricultural crops*. Urozhai. [in Ukrainian]
- Smith, J., Jones, A., & Brown, L. (2020). Optimization of haulm destruction timing for minimizing potato virus Y and M ingress in seed potato production. *Journal of Plant Pathology & Phytopathology*, 48(2), 154–162.
- Tischenko, O. D., & Yuzyuk, O. O. (2017). Productivity of seed potatoes depending on fertilizers and growth regulators on irrigation in the South of Ukraine. *Zroshuvane Zemlerobstvo*, 68, 175–179. [in Ukrainian]
- Vishnevskaya, O., Dmytrenko, V., Zakharchuk, N., & Oliinyk, T. (2021). Productivity and viral diseases of seed potatoes depending on the period of potato desiccation. *EUREKA: Life Sciences*, 5, 26–34. <https://doi.org/10.21303/2504-5695.2021.002067>
- Zhu, W. (2022). Key technology for virus-free seed potatoes pre-elite breeding. *Asian Agricultural Research*, 14(3), 47–50.