

УДК 633.491:632.482.  
112:631.524.85:551.583  
DOI: 10.37128/2707-5826-  
2026-1-13

**ДИФЕРЕНЦІАЦІЯ  
СОРТІВ І ГІБРИДІВ  
КАРТОПЛІ ЗА  
СТІЙКІСТЮ ПРОТИ  
PHYTOPHTHORA  
INFESTANS НА ОСНОВІ  
ГІДРОТЕРМІЧНОГО  
КОЕФІЦІЄНТА ТА  
КОРЕЛЯЦІЙНОГО  
АНАЛІЗУ**

**Н.В. ПИСАРЕНКО**, кандидат с.-г. наук, завідувач лабораторії селекції і насінництва Поліського дослідного відділення Інституту картоплярства НААН

**Н.А. ЗАХАРЧУК**, кандидат біологічних наук, старший науковий співробітник, вчений секретар Інституту картоплярства НААН

**Т.М. ОЛІЙНИК**, кандидат сільськогосподарських наук, старший науковий співробітник, доцент, заступник директора з наукової роботи Інституту картоплярства НААН

**В.М. СОБРАН**, кандидат с.-г., старший науковий співробітник лабораторії селекції Інституту картоплярства НААН

У статті наведено результати багаторічної комплексної оцінки стійкості сортів і гібридів картоплі до *Phytophthora infestans* в умовах природного інфекційного фону Карпатського регіону України впродовж 2023–2025 років. Дослідження проведено з використанням селекційного матеріалу різного генетичного походження з метою встановлення закономірностей прояву резистентності за контрастних гідротермічних умов та виділення стабільних джерел стійкості для практичної селекції.

Встановлено, що метеорологічні умови років істотно впливали на інтенсивність розвитку фітофторозу та характер диференціації генотипів. У 2023–2024 рр. за умов підвищеного зволоження та помірних температур переважали форми зі слабкою та середньою стійкістю, тоді як у 2025 р. за зміненого гідротермічного режиму частка стійких і високостійких генотипів серед гібридного матеріалу та сортів становила від 45 до 89 %. Аналіз розподілу генотипів за категоріями стійкості виявив статистично значущі міжрічні та подекадні відмінності ( $\chi^2$ ,  $p < 0,001$ ), що свідчить про виражений епіфітотійний тиск і високу інформативність умов полігону.

Подекадний аналіз середніх балів стійкості дозволив ідентифікувати II декаду серпня як критичний період розвитку хвороби, коли спостерігали максимальне зниження рівня резистентності. Виявлено сильний позитивний кореляційний зв'язок між середнім гідротермічним коефіцієнтом вегетаційного періоду та середнім балом стійкості гібридів ( $r = 0,998$ ;  $p < 0,05$ ), що підтверджує визначальну роль погодних умов у реалізації генетичного потенціалу резистентності. За результатами багаторічної оцінки виділено генотипи 3.15.96/4, П.17.30-3, П.15.5/27, П.17.19-26, П.17.20-3, П.17.38/16, П.18.78/1, Соборна, Хелена і Родинна, які впродовж двох років зберігали підвищений рівень стійкості за різних сценаріїв розвитку епіфітотій, що вказує на ймовірно полігенно детермінований характер резистентності. Отримані дані підтверджують унікальність Карпатського природного інфекційного фону для об'єктивної селекційної оцінки картоплі та науково ґрунтованого добору джерел стійкості до фітофторозу.

**Ключові слова:** селекційний матеріал, природний інфекційний фон, епіфітотійний тиск, гідрометеорологічні умови, динаміка ураження рослин, резистентність, селекційна цінність генотипів.

Табл. 4. Літ. 23.



DIFFERENTIATION OF POTATO VARIETIES AND HYBRIDS BY RESISTANCE TO PHYTOPHTHORA INFESTANS BASED ON THE HYDROTHERMAL COEFFICIENT AND CORRELATION ANALYSIS © 2026 by Pysarenko N.V., Zakharchuk N.A., Oliinyk T.M., Sobran V.M. is licensed under CC BY 4.0

**Постановка проблеми:** Картопля (*Solanum tuberosum* L.) є однією з провідних продовольчих культур у світі, але її продуктивність обмежується низкою факторів, серед яких ключове місце займає фітофтороз, спричинений *Phytophthora infestans* (Mont.) de Bary – збудником, що викликає швидке поширення некротичних уражень листків, стебел і бульб у помірному кліматі з оптимальними умовами температури і вологості [1, 2]. Фітофтороз залишається найбільш економічно значущою хворобою картоплі у світовому масштабі, втрати врожаю у сприйнятливих сортів картоплі можуть перевищувати 50 % у роки з інтенсивним розвитком хвороби [3, 4]. Сукупні збитки, що включають як прямі втрати врожаю, так і витрати на застосування фунгіцидів для обмеження розвитку *Phytophthora infestans*, за оцінками, перевищують 9 млрд. євро щорічно [5].

У зв'язку з цим актуальним завданням сучасної селекції є формування сортів картоплі з довготривалою та стабільною польовою стійкістю в різних агроєкологічних умовах, що створює передумови для скорочення пестицидного навантаження на агроєкосистеми та підвищення безпечності харчової продукції.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Незважаючи на тривалу історію селекції картоплі на резистентність до фітофторозу, ефективність окремих генетичних джерел залишається обмеженою через високу еволюційну пластичність патогену, змінний набір вірулентних штамів та здатність формувати нові фізіологічні раси, здатні долати моногенну резистентність [6, 7]. Крім того, на території України популяції *P. infestans* характеризуються високою генетичною різноманітністю із 17 виявленими генотипами серед 35 локальних ізолятів, що свідчить про значний поліморфізм у регіональній популяції збудника [8].

У міжнародних дослідженнях ідентифіковано численні QTL-локуси, які пояснюють до 50 % фенотипової варіації резистентності до фітофторозу та можуть слугувати маркерами для селекції [9, 10]. Транскриптомні аналізи виявили ключові набори генів, що активуються після інфікування *P. infestans*, включно з транскрипційними факторами AP2-EREBP та MYB, що мають значення у захисних біосинтетичних шляхах [11]. Ці підходи підкреслюють важливість кількісної (полігенної) резистентності, яка проявляється у широкому спектрі зовнішніх умов та забезпечує більшу стабільність у часі порівняно з окремими моногенними R-генами [12, 13].

Агрокліматичні фактори, зокрема гідротермічні режими вегетаційного періоду, суттєво модулюють прояв фітофторозу, що доведено у польових оцінках селекційного матеріалу: коливання температури і вологості повітря визначають інтенсивність епіфітотій та впливають на реалізацію генетичного потенціалу стійкості у різних генотипів [14, 15]. Ця залежність особливо важлива для регіонів із мінливим кліматом, де неоднорідність зволоження спричиняє суттєві відмінності у фенотипових оцінках за роками.

Дослідження українських вчених також підтверджують значення польових оцінок у локальних ґрунтово-кліматичних умовах: аналіз структури хвороб у вегетативній масі різних сортів картоплі показав значне домінування фітофторозу серед інших мікозів та залежність рівня ураження від сортових особливостей і груп стиглості [16–18].

Оцінка генотипів картоплі на стійкість до інших фітопатогенів (наприклад *Alternaria* та *Fusarium*) у Центральному Поліссі показала, що міжвидові гібриди можуть мати підвищену адаптивну здатність за абіотичного стресу, що свідчить про важливість глибшого розуміння адаптаційних механізмів у селекції [19].

Узагальнення світових і вітчизняних даних вказує на необхідність комплексної, тривалої та мультифакторної оцінки селекційного матеріалу, що дозволить виділити стабільні джерела стійкості до *P. infestans* та інших фітопатогенів у різних агроекологічних умовах для подальшої селекційної роботи.

Мета дослідження. Дослідити рівень стійкості сортів і гібридів картоплі до збудника *Phytophthora infestans* (Mont.) de Bary в умовах природного інфекційного фону Карпатського регіону, встановити вплив гідротермічних умов року на інтенсивність ураження рослин фітофторозом, визначити кореляційні залежності між гідротермічним коефіцієнтом та проявом резистентності селекційного матеріалу з метою виділення джерел стійкості для подальшої селекційної роботи.

**Завдання дослідження.** 1. Дослідити стійкість сортів і гібридів картоплі до збудника *Phytophthora infestans* (Mont.) de Bary за 9-бальною шкалою в умовах природного інфекційного фону Карпатського регіону упродовж 2023–2025 рр.

2. Проаналізувати вплив гідротермічних умов вегетаційних періодів (за показниками гідротермічного коефіцієнта) на інтенсивність ураження рослин фітофторозом та динаміку прояву стійкості селекційного матеріалу.

3. Встановити кореляційні зв'язки між подекадними значеннями гідротермічного коефіцієнта та середнім балом стійкості сортів і гібридів картоплі з визначенням статистичної значущості ( $p < 0,05$ ).

4. Визначити критичні періоди вегетації картоплі, в яких режим зволоження (за показником ГТК) найбільше впливає на формування епіфітотії фітофторозу та диференціацію генотипів за рівнем резистентності.

5. Охарактеризувати структуру розподілу селекційного матеріалу за класами стійкості (нестійкі, слабкостійкі, середньостійкі, стійкі, високостійкі) залежно від метеорологічного сценарію року.

6. Виділити генотипи з високим ( $\geq 7,6$  бала) та підвищеним (5,6–7,5 бала) рівнем резистентності як пріоритетні джерела стійкості для використання в селекційних програмах.

**Умови та методика проведення досліджень.** Експериментальні дослідження проводили упродовж 2023–2025 рр. на дослідних полях відділу селекції і генетичних ресурсів Інституту картоплярства НААН (с. Верхні Ворота, Воловецький район, Закарпатська область; 48°46' пн. ш., 23°08' сх. д.).

Дослідні поля розташовані у зоні Воловецько-Верховинського низькогір'я на висоті 650 м над рівнем моря.

Ґрунтовий покрив представлений буроземно-підзолистими поверхнево-оглеєними щебенуватими ґрунтами, сформованими на елювії-делювії щільних гірських порід. Ґрунти легкосуглинкові, зі значною скелетністю, що забезпечує високу водопроникність, але зумовлює інтенсивне вимивання поживних елементів. Реакція ґрунтового розчину – сильнокисла (рН сол. 4,4–4,8), вміст гумусу в орному шарі становить 2,4–3,1%, що відповідає середньому рівню забезпеченості. Вміст рухомого фосфору – 40–60 мг/кг ґрунту, обмінного калію – 80–120 мг/кг. Такі ґрунтово-екологічні умови є типовими для Карпатського регіону та формують специфічний фон живлення і зволоження, який впливає на ріст рослин картоплі та перебіг фітофторозу в умовах природного інфекційного навантаження.

Предметом досліджень були перспективні сорти та гібриди картоплі селекції Поліського дослідного відділення ІК НААН та Інституту картоплярства НААН. У 2023 році оцінено 13 сортів (Тирас, Слаута, Партнер, Левада, Житниця, Меланія, Княгиня, Мирослава, Марфуша, Слов'янка, Соборна, Явір, Родинна) та 35 міжсорткових і міжвидових гібридів. У 2024 році оцінено 9 сортів (Тирас, Слаута, Житниця, Соборна, Меланія, Мирослава, Ярина, Хелена, Дивина) та 52 перспективні гібриди, у 2025 році – 9 сортів (Тирас, Житниця, Княгиня, Родинна, Ярина, Хелена, Дивина, Єва, Сніжана) та 60 селекційних форм. Зміна складу селекційного матеріалу за роками була зумовлена особливостями селекційного процесу, етапністю вибракування форм та надходженням нових перспективних генотипів, що відповідає прийнятій методології попередньої селекційної оцінки.

Вирощування селекційного матеріалу картоплі здійснювали за загальноприйнятною технологією відповідно до методичних рекомендацій Інституту картоплярства НААН [20]. З метою об'єктивної оцінки стійкості селекційного матеріалу до фітофторозу, в період обліку ураження патогеном фунгіцидні обробки не застосовували.

Облік ураження рослин картоплі збудником *Phytophthora infestans* (Mont.) de Bary розпочинали в I декаді липня, а через 7–10 діб проводили наступний облік, фіксуючи перші ознаки ураження на листках. Стійкість гібридів і сортів картоплі до фітофторозу оцінювали за 9-бальною шкалою: 1 – нестійкі (>75 % поверхні); 1,6–3,5 – слабостійкі (уражено 51–75 % поверхні); 3,6–5,5 – середньо стійкі (уражено 26–50 % поверхні); 5,6–7,5 – стійкі (уражено 5–25 % поверхні); 7,6–9,0 – високостійкі (<5 % ураженої поверхні). Оцінку стійкості сортів і гібридів картоплі проти збудника фітофторозу проводили відповідно до методики, прийнятої в Інституті картоплярства НААН [21] та "Методології оцінювання сортозразків картоплі на стійкість проти основних шкідників і збудників хвороб" [22].

*Статистичний аналіз.* Подекадні середні бали стійкості сортів і гібридів картоплі формували за непараметричним тестом Фрідмана для повторних вимірювань ( $p < 0,05$ ) та трендовим аналізом Sen's slope для визначення напрямку змін балів впродовж вегетаційного періоду.

Розподіл генотипів за категоріями стійкості (слабко-, середньо-, стійкі та високостійкі) оцінювали за  $\chi^2$ -критерієм Пірсона із розрахунком стандартизованих залишків (residuals). Кореляційний аналіз між середнім балом стійкості та гідротермічним коефіцієнтом (ГТК) проводили за коефіцієнтом Пірсона. Усі розрахунки виконано в програмі R (версія 4.x) з пакетом stats для непараметричних та кореляційних тестів та trend для оцінки трендів Sen's slope.

*Характеристика метеорологічних умов періоду випробування.* Метеорологічні дані вегетаційних періодів картоплі сезонів 2023–2025 рр. отримано з бази NASA POWER Project (<https://power.larc.nasa.gov/>), яка базується на глобальному реаналізі MERRA-2 (Modern-Era Retrospective analysis for Research and Applications, Version 2) з просторовою роздільністю  $0,5^\circ \times 0,625^\circ$  (~50 км). Дані екстраговано для координат с. Верхні Ворота ( $48^\circ 46'$  пн. ш.,  $23^\circ 08'$  сх. д.).

ГТК розраховано за формулою Селянінова на основі декадних сум опадів та температур. Градацію ГТК (гідротермічного коефіцієнта) використовували відповідно до класифікації, опублікованої у «Словнику агронома» (SuperAgronom.com) [23]:  $< 0,4$  – дуже сильна посуха;  $0,4$ – $0,5$  – сильна посуха;  $0,6$ – $0,7$  – середня посуха;  $0,8$ – $0,9$  – слабка посуха;  $1,0$ – $1,5$  – достатньо вологий;  $> 1,5$  – надмірно вологий.

Встановлено, що метеорологічні умови в с. Верхні Ворота характеризувалися значною міжрічною варіабельністю режиму зволоження, що істотно впливало на формування та інтенсивність розвитку природного інфекційного фону викликаного збудником *Phytophthora infestans* (Mont.) de Bary. Розрахунок гідротермічного коефіцієнта (ГТК) за даними NASA POWER Project засвідчив суттєві відхилення від багаторічних середніх значень (LTA).

2023 рік відзначався контрастним розподілом вологозабезпечення впродовж вегетаційного періоду (Табл. 1). Липень характеризувався помірним і підвищеним зволоженням: ГТК I декади становив 1,3 (на 13 % нижче LTA), II декади – 2,1 (на 40 % вище), III декади – 1,7 (на 13 % вище). У серпні спостерігали дефіцит вологи в першій половині місяця (ГТК 0,6 та 0,4 – на 54–69 % нижче норми), що змінився різким зростанням зволоження у III декаді (ГТК 2,0; +54 % до LTA). Вересень характеризувався посушливим початком (ГТК 0,3; –79 % до норми) з поступовим наближенням до багаторічних значень.

2024 рік вирізнявся аномально посушливими умовами липня. За відносно близьких до норми значень ГТК у I декаді (1,4), II та III декади були критично посушливими (0,2 та 0,6 відповідно). У серпні дефіцит вологи зберігався до II декади, після чого в III декаді зафіксовано різке зростання зволоження (ГТК 2,4). Вересень характеризувався надлишковим вологозабезпеченням, з підвищенням ГТК до 3,6.

Таблиця 1

**Подекадні значення гідротермічного коефіцієнта (ГТК) у період вегетації картоплі (липень–вересень) за даними NASA POWER Project для локації с. Верхні Ворота**

Рік	Липень				Серпень				Вересень			
	I	II	III	LTA	I	II	III	LTA	I	II	III	LTA
2023	1,3	2,1	1,7	1,5	0,6	0,4	2,0	1,3	0,3	0,9	1,3	1,4
2024	1,4	0,2	0,6		0,4	0,2	1,1		2,4	3,4	1,2	
2025	2,0	1,4	1,1		0,9	2,1	2,8		1,8	1,8	3,6	

**Примітка.** Дані базуються на реаналізі MERRA-2 (NASA) та супутникових спостереженнях; I–III — декади місяця; LTA (Long-Term Average) – багаторічне середнє значення гідротермічного коефіцієнта для локації с. Верхні Ворота, однакове для всіх років досліджень

2025 рік характеризувався найбільш сприятливими агрометеорологічними умовами для ініціації та потенційного розвитку фітофторозу, що забезпечило оптимальні умови для диференціації генотипів картоплі за рівнем польової стійкості. Липень відзначався стабільно підвищеним зволоженням (ГТК 2,0–1,1), серпень – високими значеннями ГТК (2,1–2,8), а вересень – максимальними показниками за весь період спостережень (до 3,6), що перевищувало багаторічну норму у 2,6 рази. Таким чином, 2025 рік можна розглядати як оптимальний за умовами для селекційної оцінки, оскільки фітофтороз розвивався та поширювався на рівні, достатньому для диференціації генотипів, але без масового ураження, що маскує генетично зумовлені відмінності.

Такий характер метеорологічних умов забезпечив формування різних сценаріїв розвитку фітофторозу: від ранньої епіфітотії (2023), депресивного розвитку з пізнім спалахом (2024) до тривалої та інформативної диференціації генотипів (2025).

**Результати досліджень.** Оцінка реакції сортів і гібридів картоплі на фітофтороз в умовах Карпат. Аналіз взаємозв'язку між гідротермічним коефіцієнтом і балом стійкості виявив чітку залежність із часовим зсувом реакції рослин на зміну умов зволоження, що дозволило оцінити реакцію селекційного матеріалу в умовах контрастних метеорологічних сценаріїв.

Оцінка реакції сортів і гібридів картоплі до збудника *Phytophthora infestans* (Mont.) de Bary у Карпатах продемонструвала виразну залежність середнього балу стійкості від року та декади вегетації. В 2023–2024 рр. спостерігали різке зниження балів у липні–серпні, що пов'язано з раннім та інтенсивним проявом епіфітотії, тоді як в 2025 р. спад балів був помірнішим, що свідчить про пролонговану дію природного інфекційного фону та стабільність полігенної резистентності окремих генотипів (Табл. 2).

Непараметричний тест Фрідмана показав статистично значущі зміни середнього балу впродовж декад для гібридів ( $\chi^2_{F} = 28,4$ ;  $df = 8$ ;  $p < 0,001$ ) та сортів ( $\chi^2_{F} = 18,9$ ;  $df = 8$ ;  $p = 0,015$ ). Трендовий аналіз Sen's slope підтвердив уповільнення зниження балу у 2025 р., відображаючи стабільність генотипів з високою стійкістю.

Таблиця 2

**Подекадна динаміка середнього балу стійкості сортів і гібридів проти фітофторозу в умовах природного інфекційного фону Карпат**

Матеріал	Рік	Липень			Серпень			Вересень	
		I	II	III	I	II	III	I	II
Гібриди	2023	9	8,9	7,0	2,6	1,6	1,1	1	1
Сорти		9	9	6,7	1,9	1,5	1	1	1
Гібриди	2024	8,3	5,8	4,5	2,5	1,4	1,1	1	1
Сорти		7,8	6,0	4,7	2,7	1,7	1,1	1	1
Гібриди	2025	9	9	9	7,0	4,6	3,7	2,6	1,5
Сорти		9	9	9	8,3	7,5	5,8	3,5	2,3

**Примітка.** Оцінку проводили за 9-бальною шкалою; значення наведено як середній бал за сукупністю генотипів відповідної категорії матеріалу. Статистичний аналіз подекадних середніх балів стійкості проводили за непараметричним тестом Фрідмана, який показав статистично значущі зміни середнього балу впродовж декад для гібридів ( $\chi^2_{F} = 28,4$ ;  $df = 8$ ;  $p < 0,001$ ) та сортів ( $\chi^2_{F} = 18,9$ ;  $df = 8$ ;  $p = 0,015$ ). Динаміку змін середнього балу впродовж вегетаційного періоду оцінювали за допомогою трендового аналізу Sen's slope (застосовували для оцінки трендів упродовж усіх декад вегетації кожного року), який показав достовірні напрями підвищення чи зниження рівня стійкості у різні декади.

*Джерело:* сформовано за результатами власних досліджень

2023 рік характеризувався депресивним розвитком із пізнім спалахом фітофторозу. Високий ГТК II декади липня (2,1) створив сприятливі умови для масового первинного інфікування збудником *Phytophthora infestans* (Mont.) de Bary. Через 7 днів (III декада липня) в обох категоріях матеріалу зафіксовано різке зниження балу стійкості: з 8,9–9,0 до 6,7–7,0.

Посушливі умови I–II декади серпня (ГТК 0,4–0,6) не уповільнили некротизацію, оскільки накопичений інфекційний потенціал та рясні роси сприяли прогресуванню хвороби, а повернення зволоження в III декаді (ГТК 2,0) спричинили повну втрату стійкості до кінця місяця (1 бал). Фінальна оцінка 2023 року засвідчила високу жорсткість інфекційного навантаження: середній бал стійкості становив 3,9–4,0 бала, при цьому 94–100 % сортів і гібридів знаходились в межах класу слабо- та нижньої межі середньостійких форм (3,6–5,5 бала). Генотипів зі стабільною стійкістю ( $\geq 5,6$  бала) не виявлено. У гібридів 6 % матеріалу визначено як слабостійкі (1,6–3,5 бала), що свідчить про наявність окремих форм із критично низькою резистентністю навіть серед матеріалу завершальних селекційних етапів (Табл. 3).

Таблиця 3

**Розподіл сортів і гібридів картоплі за групами стійкості до фітофторозу за середнім балом у роки досліджень, %**

Матеріал	Рік	Кількість	Середнє значення		Межі стійкості, бали			
			Стійкості, бал	ГТК	1,6–3,5	3,6–5,5	5,6–7,5	≥7,6
Гібриди	2023	35	4,0	1,4	6	94	0	0
Сорти		13	3,9		0	100	0	0
Гібриди	2024	52	3,2	1,3	61	37	2	0
Сорти		9	3,2		78	22	0	0
Гібриди	2025	60	5,8	1,8	0	55	32	13
Сорти		9	6,8		0	11	78	11

Примітка. Середній бал стійкості визначено як інтегральний показник, розрахований на основі серії подекадних обліків у межах одного вегетаційного періоду. Відмінності у розподілі гібридів і сортів картоплі за класами стійкості між роками оцінювали за  $\chi^2$ -критерієм Пірсона. Встановлено високозначущий вплив року оцінки на структуру розподілу: гібридного матеріалу – ( $\chi^2 = 99,80$ ;  $df = 6$ ;  $p < 0,001$ ), сортів – ( $\chi^2 = 46,93$ ;  $df = 6$ ;  $p < 0,001$ ).

Джерело: сформовано за результатами власних досліджень

2024 рік демонстрував ранню епіфітотію фітофторозу. Посушливий ГТК липня (0,2–0,6) не запобіг початку інфікування та візуального прояву ураження листків. Вже з II декади липня бал стійкості почав знижуватися: у гібридів – з 8,3 до 5,8, у сортів – з 7,8 до 6,0. Різке зростання ГТК у III декаді серпня до II декади вересня (1,1–3,4) викликало швидке зниження стійкості. Кінцева оцінка виявила найнижчі показники за три роки – середній бал знизився до 3,2 бала в усіх категоріях, при цьому 61 % гібридів та 78 % сортів було віднесено до класу з слабкою стійкістю (1,6–3,5 бала). Лише 2 % гібридів досягли рівня середньостійких (5,6–7,5 бала), високостійких форм не виявлено. Цей результат демонструє, що селекційний матеріал, який пройшов багаторічний селекційний добір за стійкістю до фітофторозу в умовах Центрального Полісся, виявляється вразливим на природному інфекційному фоні Карпат.

2025 рік – пролонгована диференціація за умов рівномірного інфекційного навантаження. Агрометеорологічні умови 2025 року характеризувалися підвищеним середньосезонним значенням ГТК за відсутності різких коливань гідротермічного режиму. Поступове зниження ГТК від надмірного зволоження у липні (2,0–1,1) до помірного та близького до оптимального у серпні–вересні (0,9–1,8) зумовило стабільний перебіг інфекційного процесу *P. infestans* без формування епіфітотійних піків. Такі умови забезпечили тривалу дію природного інфекційного фону та дали змогу оцінити генотипи за темпами втрати польової стійкості без впливу метеорологічних стресів. До II декади серпня середній бал стійкості у сортів становив 7,5, у гібридів – 4,6, що відображає відмінності у швидкості зниження резистентності за пролонгованого інфекційного тиску.

Розподіл селекційного матеріалу за класами стійкості підтвердив високу інформативність року: до груп середньо- та високостійких ( $\geq 5,6$  бала) віднесено 45 % гібридів та 89 % сортів, з яких 13 % гібридів і 11 % сортів характеризувалися високою стійкістю ( $\geq 7,6$  бала). Середній бал стійкості зростав до 5,8 у гібридів і 6,8 у сортів, що відповідно на 81 % та 113 % перевищує показники 2024 року і свідчить про повнішу реалізацію генетичного потенціалу резистентності в умовах оптимального режиму оцінки.

*Кореляційний аналіз за декадами в роки досліджень та статистичні закономірності.* Оцінка реакції сортів і гібридів картоплі проти *P. infestans* у Карпатах продемонструвала виразну залежність середнього балу стійкості від року та декади вегетації. У 2023–2024 рр. спостерігали різке зниження балів у липні–серпні, що відображало ранній та інтенсивний прояв епіфітотії, тоді як в 2025 р. спад балів був помірнішим, що свідчить про пролонговану дію природного інфекційного фону та стабільність полігенної резистентності окремих генотипів (див. табл. 2). Непараметричний тест Фрідмана для повторних вимірювань виявив статистично значущі відмінності між декадами у всіх роках для гібридів та сортів ( $p < 0,05$ ). Трендовий аналіз Sen's slope підтвердив періодоспецифічні напрями змін середнього балу стійкості: у 2023 році спостерігали різке зниження балів у серпні–вересні (slope =  $-2,14$  для гібридів,  $-2,09$  для сортів), що відображало депресивний розвиток епіфітотії та ранню втрату стійкості. В 2024 році, за умов ранньої епіфітотії та низького ГТК, середній бал стійкості різко знижувався з липня до вересня (slope =  $-2,81$  для гібридів,  $-2,55$  для сортів), що підтверджує негативний вплив нерівномірного зволоження на прояв генетичного потенціалу резистентності. У 2025 році, при підвищеному середньосезонному ГТК та відсутності різких коливань зволоження, спостерігали пролонговану диференціацію: середній бал стійкості зберігався на високому рівні в липні–серпні та поступово знижувався до вересня (slope =  $-1,08$  для гібридів,  $-0,97$  для сортів). Така тенденція вказує на повнішу реалізацію генетичного потенціалу стійкості та ефективну адаптацію матеріалу до контрастного інфекційного фону. Трендовий аналіз Sen's slope підтвердив уповільнення зниження балу в 2025 р., відображаючи стабільність високостійких генотипів.

Подальший аналіз розподілу генотипів за категоріями стійкості (див. табл. 3) показав статистично значущі відмінності між роками за  $\chi^2$  Пірсона (гібриди:  $\chi^2 = 99,80$ ;  $df = 6$ ;  $p < 0,001$ ; сорти:  $\chi^2 = 46,93$ ;  $df = 6$ ;  $p < 0,001$ ). Аналіз стандартизованих залишків (residuals) показав: в 2023 р. надлишок середньостійких форм (гібриди  $+2,84$ ; сорти  $+2,43$ ) та дефіцит високостійких; у 2024 р. – надлишок низькостійких генотипів (гібриди  $+5,76$ ; сорти  $+3,48$ ); у 2025 р. – достовірне збільшення частки середньо- ( $5,6$ – $7,5$ ) та високостійких ( $\geq 7,6$ ) форм (гібриди  $+3,79$  та  $+2,62$ ; сорти  $+3,48$  та  $+1,32$ ), що свідчить про ефективну диференціацію селекційного матеріалу та реалізацію генетичного потенціалу резистентності.

Кореляційний аналіз між середнім значенням гідротермічного коефіцієнта та середнім балом стійкості за вегетаційний період виявив статистично значущий позитивний зв'язок для гібридного матеріалу ( $r = 0,998$ ;  $p = 0,038$ ), що вказує на майже лінійну залежність рівня резистентності від режиму зволоження в умовах досліджуваних років. У сортів спостерігали дуже сильну позитивну кореляцію ( $r = 0,987$ ), проте вона не досягла статистичної значущості при  $p < 0,05$  ( $p = 0,102$ ), що зумовлено меншим обсягом вибірки ( $n = 9-13$  проти  $n = 35-60$  у гібридів) та, відповідно, нижчою статистичною потужністю тесту. Позитивний характер кореляції в обох категоріях підтверджує, що роки з вищим середнім ГТК (2025 р. – 1,8) створювали оптимальні умови для пролонгованої диференціації матеріалу та реалізації генетичного потенціалу стійкості (середній бал 5,8–6,8), тоді як роки з нижчим значенням ГТК (2024р.– 1,3) характеризувалися негативною оцінкою резистентності (3,2 бала) через специфіку розподілу зволоження впродовж вегетації.

Кореляційний аналіз між гідротермічним коефіцієнтом та середнім балом стійкості гібридного матеріалу картоплі проти *P. infestans* виявив періодоспецифічний характер зв'язку. Статистично значущу позитивну кореляцію встановлено лише в гібридного матеріалу для II декади серпня ( $r = 0,999$ ;  $p < 0,05$ ), що вказує на визначальну роль умов зволоження цього періоду у формуванні інтенсивності прояву хвороби та диференціації генотипів за стійкістю (Табл. 4). Для інших декад спостерігали помірні або високі коефіцієнти кореляції, однак вони не досягали рівня статистичної значущості, що пов'язано з обмеженим обсягом вибірки та міжрічною мінливістю метеорологічних сценаріїв.

Таблиця 4

**Коефіцієнт кореляції Пірсона (r) між гідротермічним коефіцієнтом та балом стійкості у сортів і гібридів картоплі проти *P. infestans* за декадами (2023–2025 рр.)**

Місяці – декади	Гібриди			Сорти		
	Pearson r	p-value	Сила кореляції	Pearson r	p-value	Сила кореляції
Лип–I	0,381	0,75	Слабка	0,381	0,75	Слабка
Лип–II	0,920	0,25	Дуже сильна	0,931	0,24	Дуже сильна
Лип–III	0,510	0,66	Помірна	0,418	0,73	Помірна
Серп–I	0,925	0,25	Дуже сильна	0,866	0,33	Сильна
Серп–II	0,999	0,03*	Дуже сильна	0,992	0,08	Дуже сильна
Серп–III	0,849	0,35	Сильна	0,839	0,37	Сильна
Верес–I	0,240	0,85	Дуже слабка	0,240	0,85	Дуже слабка
Верес–II	-0,160	0,90	Дуже слабка	-0,160	0,90	Дуже слабка

Примітка. \* – статистично значущий результат при  $p < 0,05$ ; позначення місяців і декад: лип. – липень, серп. – серпень, верес. – вересень; I, II, III = 1-ша, 2-га, 3-тя декада.

Джерело: сформовано за результатами власних досліджень

В сортів не виявлено статистично значущих залежностей ( $p < 0,05$ ). Разом з тим, у липні (II декада) та серпні (I–III декади) відмічали високі позитивні коефіцієнти кореляції ( $r = 0,839–0,992$ ), що свідчить про узгоджену реакцію сортового матеріалу на умови зволоження. Відсутність статистичної значущості пояснюється обмеженою міжрічною мінливістю показників стійкості сортів та малим обсягом вибірки.

Виділення джерел стійкості до фітофторозу за роками оцінки. В 2023 році, який характеризувався депресивним розвитком фітофторозу з пізньою ініціацією епіфітотії, жоден із досліджуваних генотипів картоплі не досяг класу стійких (5,6–7,5 бала). За таких умов диференціація матеріалу за рівнем резистентності була обмеженою, що зумовлено низьким і нестабільним інфекційним навантаженням упродовж основної частини вегетаційного періоду. Водночас низка гібридів – Г.10.20/1, Г.13.55с22, З.14.73/9, З.15.96/4, П.18.75/30, П.18.75/16, П.18.87/4, П.19.5/18 та сортів – Соборна, Явір і Родинна зберігали рівень стійкості у межах 4–5 балів (клас середньостійких) до I декади серпня, включно. Окремі гібриди (Г.13.55/2, П.17.29-3, П.17.38-56) утримували середню стійкість до II декади серпня. Така реакція свідчить про відносну толерантність зазначеного матеріалу до прискореного розвитку патогену за умов різкого підвищення вологості в другій половині вегетації та дозволяє розглядати його як перспективний за ознакою стабільності у фазі початкового наростання епіфітотії.

В 2024 році, який відзначався раннім початком та інтенсивним розвитком епіфітотії фітофторозу, лише 2 % гібридів (П.17.30-3) досягли класу стійких (5,6–7,5 бала). За умов високого та тривалого інфекційного тиску така реакція свідчить про наявність ефективних механізмів резистентності, зокрема уповільнення темпів некротизації листового апарату. До групи генотипів, що зберігали середню стійкість до I декади серпня включно, належали гібриди: Г.08.194/119, Г.10.6/7, З.14.64-2, З.15.96/4, З.16.40/2, З.16.50-16, П.15.5/27, П.16.16-9, П.17.29/21, П.17.20-3, П.17.19-26, П.17.28-2, П.17.38-56, П.17.4/13, П.17.19-21, П.17.38/16, П.18.78/1 та сорт Соборна. Високий рівень резистентності в цей період продемонстрували генотипи П.19.53/6, П.17.18/9, П.17.30-3 та сорт Хелена. Варто зазначити, що П.17.30-3 і сорт Хелена зберігали рівень стійкості 7 та 5 балів до II декади серпня, що обґрунтовує доцільність їх подальшого залучення як потенційних джерел резистентності до інтенсивного інфекційного навантаження.

У 2025 році, за умов пролонгованої диференціації інфекційного фону з поступовим зростанням гідротермічного коефіцієнта (від 0,9 до 3,6), встановлено чітку структуру матеріалу за рівнем стійкості. Частка високостійких форм ( $\geq 7,6$  бала) становила 13 % серед гібридів та 11 % серед сортів. Ці генотипи характеризувалися здатністю тривалий час зберігати функціональну активність вегетативної маси за умов наростаючого інфекційного тиску.

Генотипи, які утримували рівень стійкості  $\geq 7,0$  бала до I декади вересня (на 4–5 тижнів довше порівняно з основною масою матеріалу), рекомендовано розглядати як цінні джерела полігенної резистентності для подальшої селекційної роботи. До них належать гібриди: П.13.42/3, П.15.5/27, П.17.19-26, П.17.20-13, П.17.20-3, П.17.34/8, П.17.30-3, П.17.38/4, П.17.38/16, П.18.78/1, П.18.51/3, П.19.33/5, П.19.35/14, П.19.53/5, П.19.53/9, П.19.68/15, П.19.74/2 та сорти Княгиня, Хелена і Родинна, причому остання зберігала стійкість на рівні 7 балів до II декади вересня. Стійкі форми (5,6–7,5 бала) у 2025 році становили 32 % серед гібридів і 78 % серед сортів. Цей матеріал мав пролонгований вегетаційний період на 10–14 днів порівняно зі слабостійкими генотипами, що є критично важливим для формування товарного врожаю за умов раннього або інтенсивного розвитку фітофторозу.

Варто зазначити, що окремі генотипи (З.15.96/4, П.17.30-3, П.15.5/27, П.17.19-26, П.17.20-3, П.17.38/16, П.18.78/1 та сорти Соборна, Хелена і Родинна) упродовж щонайменше двох років оцінки демонстрували стабільно підвищений рівень стійкості за контрастних сценаріїв розвитку епіфітотії фітофторозу. Це обґрунтовує доцільність їх використання як пріоритетних джерел стійкості у подальших селекційних програмах.

Стабільний прояв підвищеної стійкості окремих генотипів у роки з контрастним перебігом епіфітотії узгоджується з сучасними даними про кількісну резистентність проти *P. infestans*, яка асоціюється з численними QTL, які визначаються в різних органах та проявляються в різних умовах середовища через уповільнення розвитку хвороби й пролонгацію функціональної активності листкового апарату. Такі QTL було виявлено у польових панелях за багатофакторних оцінок генотип-середовище, що пояснює значну частку фенотипової варіації стійкості та підтверджує полігенну природу цього типу резистентності.

**Висновки і перспективи подальших досліджень.** Трирічна оцінка (2023–2025 рр.) селекційного матеріалу картоплі в умовах природного інфекційного фону Карпатського регіону засвідчила високу диференціюючу здатність метеорологічних умов року щодо прояву стійкості проти *Phytophthora infestans*. Контрастність гідротермічних сценаріїв забезпечила об'єктивне розмежування генотипів за рівнем резистентності та стабільністю її прояву. У роки з депресивним або контрастним розвитком епіфітотії (2023–2024 рр.) у структурі вибірки переважали слабко- та середньостійкі генотипи із середнім балом 3,2–4,0. У 2025 р. за сприятливого гідротермічного режиму 45–89 % зразків досягли рівня стійких і високостійких форм із середнім балом 5,8–6,8, що свідчить про суттєвий вплив умов зволоження на інтенсивність прояву резистентності. Встановлено статистично значущий позитивний кореляційний зв'язок між середнім гідротермічним коефіцієнтом вегетаційного періоду та середнім балом стійкості гібридів ( $r = 0,998$ ;  $p = 0,038$ ), що підтверджує визначальну роль режиму зволоження у формуванні диференціації генотипів за рівнем резистентності.

У сортів відмічено аналогічну тенденцію ( $r = 0,987$ ), однак без досягнення статистичної значущості ( $p = 0,102$ ), що вказує на вузький діапазон фенотипової мінливості сортового матеріалу. Подекадний кореляційний аналіз ідентифікував II декаду серпня як критичний фенологічний період у формуванні інтенсивності розвитку фітофторозу. У цей інтервал для гібридів зафіксовано майже лінійну залежність між ГТК та балом стійкості ( $r = 0,999$ ;  $p < 0,05$ ), тоді як у сортів встановлено дуже сильний, проте статистично незначущий зв'язок ( $r = 0,992$ ;  $p = 0,08$ ). Генотипи З.15.96/4, П.17.30-3, П.15.5/27, П.17.19-26, П.17.20-3, П.17.38/16, П.18.78/1 та сорти Соборна, Хелена і Родинна продемонстрували стабільно підвищений рівень стійкості упродовж двох років за контрастних сценаріїв розвитку епіфітотії, що свідчить про наявність кількісної (полігенно детермінованої) резистентності та їх високу селекційну цінність. Унікальні умови Карпатського регіону свідчать про ефективність природної інфекційної моделі для об'єктивної оцінки та відбору селекційного матеріалу картоплі за стійкістю проти *P. infestans*, забезпечуючи умови для виявлення генотипів з пролонгованою функціональною активністю листового апарату (на 10–14 днів), що є критично важливим для формування товарного врожаю.

Перспективи подальших досліджень полягають у багаторічній верифікації виділених джерел стійкості в різних агроекологічних зонах України, поглибленій оцінці стабільності прояву резистентності із застосуванням непараметричних трендових моделей та аналізу повторюваності ефектів року.

### Список використаної літератури

1. Paluchowska P., Śliwka J., Yin Z. Late blight resistance genes in potato breeding. *Planta*. 2022. Vol. 255 (6). P. 127. DOI: 10.1007/s00425-022-03910-6.
2. Maurya M.K., Ram C.N., Singh S.K., Dalal P.K., Singh V., Harshita Kumar G., Singh D. Late blight of potato caused by *Phytophthora infestans* and its integrated management: A review. *Agricultural Reviews*. 2025. P. 1–8. DOI: 10.18805/ag.R-2863.
3. Чередниченко Л.М., Фурдига М.М., Собран В.М., Сучкова В.М. Оцінка за стійкістю проти фітофторозу за листками новоствореного та вихідного селекційного матеріалу картоплі. *Вісник аграрної науки*. 2021. № 6. С. 24–33. DOI: 10.31073/agrovisnyk202106-03.
4. Rucins A., Aboltins A., Furdyha M., Zakharchuk N., Oliynik T., Fedosiy I., Komar O. Breeding Evaluation of Potato Hybrids for Late Blight Resistance. *Agronomy*. 2025. Vol. 15 (10). P. 2431. DOI: 10.3390/agronomy15102431.
5. Haverkort A.J., Boonekamp P.M., Hutten R., Jacobsen E., Lotz L.A.P., Kessel G.J.T., Vossen J.H., Visser R.G.F. Durable late blight resistance in potato through dynamic varieties obtained by cisgenesis: scientific and societal advances in the DuRPh project. *Potato Research*. 2016. Vol. 59. P. 35–66. DOI: 10.1007/s11540-015-9312-6.

6. Juyo Rojas D.K., Soto Sedano J.C., Ballvora A., León J., Mosquera Vásquez T. Novel organ-specific genetic factors for quantitative resistance to late blight in potato. *PLoS One*. 2019. Vol. 14 (7). P. 0213818. DOI: 10.1371/journal.pone.0213818.

7. Naveed Z.A., Wei X., Chen J., Mubeen H., Ali G.S. The PTI to ETI Continuum in *Phytophthora*-Plant Interactions. *Frontiers in Plant Science*. 2020. Vol. 11. P. 593905. DOI: 10.3389/fpls.2020.593905.

8. Жуков Б.С., Демедюк Є.В., Гудзенко Т.В. Моніторинг генетичної різноманітності популяції *Phytophthora infestans* – збудника фітофторозу картоплі на території України. *Мікробіологія і біотехнологія*. 2025. № 3 (65). С. 21–37. DOI: 10.18524/2307-4663.2025.3(65).344540.

9. Santa J.D., Berdugo-Cely J., Cely-Pardo L., Soto-Suárez M., Mosquera T., Galeano M. CH. QTL analysis reveals quantitative resistant loci for *Phytophthora infestans* and *Tecia solanivora* in tetraploid potato (*Solanum tuberosum* L.). *PLoS One*. 2018. Vol. 13 (7). P. 0199716. DOI: 10.1371/journal.pone.0199716.

10. Leonards-Schippers C., Gieffers W., Schäfer-Pregl R., Ritter E., Knapp S.J., Salamini F., Gebhardt C. Quantitative resistance to *Phytophthora infestans* in potato: A case study for QTL mapping in an allogamous plant species. *Genetics*. 1994. Vol. 137 (1). P. 67–77. DOI: 10.1093/genetics/137.1.67.

11. He M., Zhou Y., Ye G., Zheng J., Meng Y., Wang J., Shan W. Serial Transcriptome Analysis Reveals Genes Associated with Late Blight Resistance in Potato Cultivar Qingshu 9. *Agronomy*. 2021. Vol. 11 (10). P. 1919. DOI: 10.3390/agronomy11101919.

12. Bhatia N., Tiwari J.K., Kumari C. Transcriptome analysis reveals genes associated with late blight resistance in potato. *Scientific Reports*. 2024. Vol. 14. P. 15501. DOI: 10.1038/s41598-024-60608-3.

13. Lindqvist-Kreuzer H., De Boeck B., Unger P., Gemenet D., Li X., Pan Z., Sui Q., Qin J., Woldegiorgis G., Negash K., Seid I., Hirut B., Gastelo M., De Vega J., Bonierbale M. Global multi-environment resistance QTL for foliar late blight resistance in tetraploid potato with tropical adaptation. *G3 (Bethesda)*. 2021. Vol. 11 (11). jkab251. DOI: 10.1093/g3journal/jkab251.

14. Dar W.A., Parry F.A., Bhat B.A. Potato late blight disease prediction using meteorological parameters in Northern Himalayas of India. *Journal of Agrometeorology*. 2021. Vol. 23 (3). P. 310–315. DOI: 10.54386/jam.v23i3.35.

15. Priya R.S., Yuvaraj M., Sharmila R., Jagathjothi N., Saranya M., Suganthi N., Sivaji M. Effects of Climate Change on Plant Diseases. *Plant Quarantine Challenges under Climate Change Anxiety* / eds. K. A. Abd-Elsalam, S. M. Abdel-Momen. Cham : Springer, 2024. P. 183–225. DOI: 10.1007/978-3-031-56011-8\_7.

16. Ilchuk R., Zaviriukha P., Andrushko O., Kosylovych H., Holiachuk Y. Creation of potato hybrids (*Solanum tuberosum*) progeny with high field resistance against phytophthora. *Scientific Horizons*. 2023. Vol. 26. P. 22–31. DOI: 10.48077/scihor6.2023.22.

17. Подгаєцький А.А., Собран В.М., Волкодав В.В. До питання про випробування форм картоплі на фітостійкість. *Вивчення та охорона сортів рослин*. 2006. № 4. С. 79–86. DOI: 10.21498/2518-1017.4.2006.68035.

18. Федорчук С.В., Цуркан Р.П., Лісовий М.М. Фітофтороз і альтернативні сорти картоплі в умовах Полісся України. *Науковий вісник НЛТУ України*. 2024. Т. 34, № 6. С. 8–12. DOI: 10.36930/40340601.

19. Pysarenko N., Furdyha M., Zakharchuk N., Hordiienko V. Resistance status of potato varieties to early blight under changing climate conditions in Polissia, Ukraine. *Scientific Progress & Innovations*. 2025. Vol. 28, (2). P. 87–95. DOI: 10.31210/spi2025.28.02.14.

20. Інститут картоплярства НААН. Технологія вирощування картоплі. URL: [https://ikar.in.ua/potato\\_intresting/technology/](https://ikar.in.ua/potato_intresting/technology/) (дата звернення: 23.01.2026).

21. Картоплярство: методика дослідної справи / за ред. А. А. Бондарчука, В.А. Колтунова. Вінниця : ТОВ «ТВОРИ», 2019. 652 с. URL: [https://www.ikar.org.ua/\\_files/ugd/69bb4c\\_77462c9ea8804515b090c3254bffeada.pdf](https://www.ikar.org.ua/_files/ugd/69bb4c_77462c9ea8804515b090c3254bffeada.pdf) (дата звернення: 23.01.2026).

22. Трибель С.О. Методологія оцінювання сортозразків картоплі на стійкість проти основних шкідників і збудників хвороб. Київ : Аграрна наука, 2013. 264 с.

23. Гідротермічний коефіцієнт зволоження. Словник агронома. SuperAgronom.com. 2021. URL: <https://superagronom.com/slovnik-agronoma/gidrotermichniy-koeficiyent-zvolozhennya-id20236> (дата звернення: 23.01.2026).

### Список використаної літератури у транслітерації /References

1. Paluchowska P., Śliwka J., Yin Z. (2022). Late blight resistance genes in potato breeding. *Planta*, 255 (6), 127. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00425-022-03910-6> [in English].

2. Maurya M.K., Ram C.N., Singh S.K., Dalal P.K., Singh V., Harshita Kumar G., Singh D. (2025). Late blight of potato caused by *Phytophthora infestans* and its integrated management: A review. *Agricultural Reviews*, 1–8. DOI: <https://doi.org/10.18805/ag.R-2863> [in English].

3. Cherednychenko L.M., Furdyha M.M., Sobran V.M., Suchkova V.M. (2021). Otsinka za stiikistiu proty fitoftorozu za lystkami novostvorenogo ta vykhidnogo selektsiynogo materialu kartopli [*Evaluation of resistance to late blight by leaves of newly created and initial potato breeding material*]. *Visnyk ahrarnoi nauky – Bulletin of Agricultural Science*, 6, DOI: <https://doi.org/10.31073/agrovisnyk202106-03> [in Ukrainian].

4. Rucins A., Aboltins A., Furdyha M., Zakharchuk N., Oliynik T., Fedosiy I., Komar O. (2025). Breeding Evaluation of Potato Hybrids for Late Blight Resistance. *Agronomy*, 15 (10), P. 2431. DOI: <https://doi.org/10.3390/agronomy15102431> [in English].

5. Haverkort A. J., Boonekamp P. M., Hutten R., Jacobsen E., Lotz L. A. P., Kessel G. J. T., Vossen J. H., Visser R. G. F. (2016). Durable late blight resistance in potato through dynamic varieties obtained by cisgenesis: scientific and societal advances in the DuRPh project. *Potato Research*, 59, P. 35–66. DOI:<https://doi.org/10.1007/s11540-015-9312-6> [in English].
6. Juyo Rojas D.K., Soto Sedano J. C., Ballvora A., León J., Mosquera Vásquez T. (2019). Novel organ-specific genetic factors for quantitative resistance to late blight in potato. *PLoS One*, 14(7), P. 0213818. DOI:<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0213818> [in English].
7. Naveed Z. A., Wei X., Chen J., Mubeen H., Ali G. S. (2020). The PTI to ETI Continuum in *Phytophthora*-Plant Interactions. *Frontiers in Plant Science*, 11, P. 593905. DOI:<https://doi.org/10.3389/fpls.2020.593905> [in English].
8. Zhukov B.S., Demedyuk Ye.V., Hudzenko T.V. (2025). Monitorynh henetychnoi riznomanitnosti populiatsii *Phytophthora infestans* – zbudnyka fitoftorozu kartopli na terytorii Ukrainy [Monitoring of genetic diversity of *Phytophthora infestans* population – the causative agent of potato late blight in Ukraine]. *Mikrobiolohiia i biotekhnolohiia – Microbiology and Biotechnology*, 3(65), DOI:[https://doi.org/10.18524/2307-4663.2025.3\(65\).344540](https://doi.org/10.18524/2307-4663.2025.3(65).344540) [in Ukrainian].
9. Santa J. D., Berdugo-Cely J., Cely-Pardo L., Soto-Suárez M., Mosquera T., Galeano M.CH. (2018). QTL analysis reveals quantitative resistant loci for *Phytophthora infestans* and *Tecia solanivora* in tetraploid potato (*Solanum tuberosum* L.). *PLoS One*, 13(7), P. 0199716. DOI:<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0199716> [in English].
10. Leonards-Schippers C., Gieffers W., Schäfer-Pregl R., Ritter E., Knapp S.J., Salamini F., Gebhardt C. (1994). Quantitative resistance to *Phytophthora infestans* in potato: A case study for QTL mapping in an allogamous plant species. *Genetics*, 137(1), P. 67–77. DOI:<https://doi.org/10.1093/genetics/137.1.67> [in English].
11. He M., Zhou Y., Ye G., Zheng J., Meng Y., Wang J., Shan W. (2021). Serial Transcriptome Analysis Reveals Genes Associated with Late Blight Resistance in Potato Cultivar Qingshu 9. *Agronomy*, 11(10), P. 1919. DOI:<https://doi.org/10.3390/agronomy11101919> [in English].
12. Bhatia N., Tiwari J. K., Kumari C. (2024). Transcriptome analysis reveals genes associated with late blight resistance in potato. *Scientific Reports*, 14, P. 15501. DOI:<https://doi.org/10.1038/s41598-024-60608-3> [in English].
13. Lindqvist-Kreuzer H., De Boeck B., Unger P., Gemenet D., Li X., Pan Z., Sui Q., Qin J., Woldegiorgis G., Negash K., Seid I., Hirut B., Gastelo M., De Vega, J., Bonierbale M. (2021). Global multi-environment resistance QTL for foliar late blight resistance in tetraploid potato with tropical adaptation. *G3 (Bethesda)*, 11 (11), P. 251. DOI: <https://doi.org/10.1093/g3journal/jkab251> [in English].

14. Dar W.A., Parry F.A., Bhat B.A. (2021). Potato late blight disease prediction using meteorological parameters in Northern Himalayas of India. *Journal of Agrometeorology*, 23 (3), P. 310–315. DOI:<https://doi.org/10.54386/jam.v23i3.35> [in English].
15. Priya R. S., Yuvaraj M., Sharmila R., Jagathjothi N., Saranya M., Suganthi N., Sivaji M. (2024). Effects of Climate Change on Plant Diseases. In K. A. Abd-Elsalam, S. M. Abdel-Momen (Eds.), *Plant Quarantine Challenges under Climate Change Anxiety* P. 183–225. Springer. DOI: [https://doi.org/10.1007/978-3-031-56011-8\\_7](https://doi.org/10.1007/978-3-031-56011-8_7) [in English].
16. Ilchuk R., Zaviriukha P., Andrushko O., Kosylovych H., Holiachuk Y. (2023). Creation of potato hybrids (*Solanum tuberosum*) progeny with high field resistance against phytophotorosis. *Scientific Horizons*, 26, P. 22–31. DOI: <https://doi.org/10.48077/scihor6.2023.22> [in English].
17. Podhaietskyi A. A., Sobran V. M., Volkodav V. V. (2006). Do pytannia pro vyprobuvannia form kartopli na fitostiikist [*On the issue of testing potato forms for phytoresistance*]. *Vyvchennia ta okhorona sortiv roslyn – Study and Protection of Plant Varieties*, 4, DOI: <https://doi.org/10.21498/2518-1017.4.2006.68035> [in Ukrainian].
18. Fedorchuk S.V., Tsurkan R.P., Lisovyi M.M. (2024). Fitoftoroz i alternarioz kartopli v umovakh Polissia Ukrainy [*Late blight and early blight of potatoes in the conditions of Polissya of Ukraine*]. *Naukovyi visnyk NLTU Ukrainy – Scientific Bulletin of UNFU*, 34(6), 8–12. DOI:<https://doi.org/10.36930/40340601> [in Ukrainian].
19. Pysarenko N., Furdyha M., Zakharchuk N., Hordiienko V. (2025). Resistance status of potato varieties to early blight under changing climate conditions in Polissia, Ukraine. *Scientific Progress & Innovations*, 28 (2), P. 87–95. DOI:<https://doi.org/10.31210/spi2025.28.02.14> [in English].
20. Instytut kartopliarstva NAAN. (2026). Tekhnolohiia vyroshchuvannia kartopli [*Potato growing technology*]. DOI:[https://ikar.in.ua/potato\\_intresting/technology/](https://ikar.in.ua/potato_intresting/technology/) [in Ukrainian].
21. Bondarchuk A.A., Koltunov V.A. (Eds.). (2019). *Kartopliarstvo: metodyka doslidnoi spravy* [*Potato growing: research methodology*]. TOV «TVORY». [https://www.ikar.org.ua/\\_files/ugd/69bb4c\\_77462c9ea8804515b090c3254bffeada.pdf](https://www.ikar.org.ua/_files/ugd/69bb4c_77462c9ea8804515b090c3254bffeada.pdf) [in Ukrainian].
22. Trybel S.O. (2013). *Metodolohiia otsiniuvannia sortozrazkiv kartopli na stiikist proty osnovnykh shkidnykiv i zbudnykiv khvorob* [*Methodology for evaluating potato varieties for resistance to major pests and disease pathogens*]. Ahrarna nauka. [in Ukrainian].
23. Hidrotermichnyi koefitsient zvolozhennia [*Hydrothermal moisture coefficient*]. (2021). *Slovnik ahronoma – Agronomist's Dictionary*. SuperAgronom.com. <https://superagronom.com/slovník-agronoma/gidrotermichniy-koeficiyent-zvolozhennya-id20236> [in Ukrainian].

## ANNOTATION

### ***DIFFERENTIATION OF POTATO VARIETIES AND HYBRIDS BY RESISTANCE TO PHYTOPHTHORA INFESTANS BASED ON THE HYDROTHERMAL COEFFICIENT AND CORRELATION ANALYSIS***

*The article presents the results of a long-term comprehensive assessment of the resistance of potato varieties and hybrids to *Phytophthora infestans* under the natural infectious background of the Carpathian region of Ukraine during 2023–2025. The study was conducted using breeding material of different genetic origin in order to establish patterns of resistance under contrasting hydrothermal conditions and to identify stable sources of resistance for practical breeding. It was found that the meteorological conditions of the years significantly influenced the intensity of late blight development and the nature of genotype differentiation.*

*In 2023–2024, under conditions of increased moisture and moderate temperatures, forms with weak and medium resistance prevailed, while in 2025, under changed hydrothermal conditions, the proportion of resistant and highly resistant genotypes among hybrid material and varieties ranged from 45 to 89%. Analysis of the distribution of genotypes by resistance categories revealed statistically significant interannual and decadal differences ( $\chi^2$ ,  $p < 0.001$ ), indicating pronounced epiphytotic pressure and high informativeness of the test site conditions. A ten-day analysis of average resistance scores identified the second ten days of August as a critical period for disease development, when the maximum decrease in resistance was observed. A strong positive correlation was found between the average hydrothermal coefficient of the growing season and the average resistance score of hybrids ( $r = 0.998$ ;  $p < 0.05$ ), confirming the decisive role of weather conditions in the realisation of genetic resistance potential. Based on the results of a long-term assessment, the following genotypes were selected: Z.15.96/4, P.17.30-3, P.15.5/27, P.17.19-26, P.17.20-3, P.17.38/16, P.18.78/1, Soborna, Helena and Rodinna, which maintained an increased level of resistance over two years under various scenarios of epiphytotic development, indicating a likely polygenic nature of resistance. The data obtained confirm the uniqueness of the Carpathian natural infectious background for objective selection evaluation of potatoes and scientifically based selection of sources of resistance to late blight.*

**Keywords:** *breeding material, natural infectious background, epiphytotic pressure, hydrometeorological conditions, dynamics of plant damage, resistance, breeding value of genotypes*  
**Table 4., Lit. 23.**

### **Інформація про авторів**

**Писаренко Наталія Василівна**, кандидат сільськогосподарських наук, завідувач лабораторії селекції і насінництва Поліського дослідного відділення Інституту картоплярства НААН (11699, вул. Центральна 6, с. Федорівка, Коростенський р-н, Житомирська обл., e-mail: [pisarenkonatalia1978@gmail.com](mailto:pisarenkonatalia1978@gmail.com), ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0001-6299-2170>).

**Захарчук Наталія Анатоліївна**, кандидат біологічних наук, старший науковий співробітник, вчений секретар Інституту картоплярства НААН (07853, вул. Ярослава Мудрого, 22, смт. Немішаєве, Бучанський р-н, Київської обл., e-mail: [vs\\_potato@meta.ua](mailto:vs_potato@meta.ua), ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-8194-2491>).

**Олійник Тетяна Миколаївна**, кандидат сільськогосподарських наук, старший науковий співробітник, доцент, заступник директора з наукової роботи Інституту картоплярства НААН (07853, вул. Ярослава Мудрого, 22, смт. Немішаєве, Бучанський р-н, Київської обл., e-mail: [oliyniktm@gmail.com](mailto:oliyniktm@gmail.com), ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-7235-9413>).

**Собран Василь Михайлович**, кандидат сільськогосподарських, старший науковий співробітник лабораторії селекції Інституту картоплярства НААН (89130, вул. Центральна 99, с. Нижні Ворота, Мукачівський район, Закарпатська область, e-mail: sobranvm@ukr.net, ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0003-2543-2769>).

**Natalia Pysarenko**, Candidate of Agricultural Sciences, Head of the Laboratory of Selection and Seed Production of the Polissya Research Department of the Institute of Potato Farming of the National Academy of Agrarian Sciences (11699, 6 Tsentralna St., Fedorivka village, Korosten district, Zhytomyr region, e-mail: pisarenkonatalia1978@gmail.com, ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0001-6299-2170>).

**Nataliia Zakharchuk**, Candidate of Biological Sciences, Senior Researcher, Scientific Secretary of the Institute of Potato Growing of the National Academy of Agrarian Sciences (07853, 22 Yaroslav Mudryi St., Nemishaieve, Bucha District, Kyiv Region, e-mail: vs\_potato@meta.ua, ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-8194-2491>).

**Tetiana Oliinyk**, Candidate of Agricultural Sciences, Senior Research Fellow, Associate Professor, Deputy Director for Scientific Work at the Institute of Potato Growing of the National Academy of Agrarian Sciences (07853, 22 Yaroslav Mudry Street, Nemishaieve, Bucha District, Kyiv Region, e-mail: oliyniktm@gmail.com, ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-7235-9413>).

**Vasyl Sobran**, Candidate of Agricultural Sciences, Senior Researcher at the Selection Laboratory of the Institute of Potato Growing of the National Academy of Agrarian Sciences (89130, 99 Tsentralna St., Nyzhni Vorota village, Mukachevo district, Zakarpattia region, e-mail: sobranvm@ukr.net, ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0003-2543-2769>).

Надходження статті 28.01.26.

Прийнято 11.02.26.

Опубліковано 10.03.26.