

СКРИНІНГ ГІБРИДІВ ТА СОРТІВ КАРТОПЛІ НА СТІЙКІСТЬ ДО ІРЖАВОЇ ПЛЯМИСТОСТІ БУЛЬБ В УМОВАХ ЦЕНТРАЛЬНОГО ПОЛІССЯ УКРАЇНИ

ПИСАРЕНКО Н.В. – кандидат сільськогосподарських наук

orcid.org/0000-0001-6299-2170

Поліське дослідне відділення Інституту картоплярства

Національної академії аграрних наук України

ФУРДИГА М.М. – кандидат сільськогосподарських наук, старший науковий співробітник

orcid.org/0000-0002-9398-0487

Інститут картоплярства Національної академії аграрних наук України

ЗАХАРЧУК Н.А. – кандидат біологічних наук, старший науковий співробітник

orcid.org/0000-0002-8194-2491

Інститут картоплярства Національної академії аграрних наук України

ГОРДІЄНКО В.В. – кандидат сільськогосподарських наук, старший науковий співробітник

orcid.org/0000-0003-0407-1474

Інститут картоплярства Національної академії аграрних наук України

Постановка проблеми. Картопля є ключовою сільськогосподарською культурою, що забезпечує продовольчу безпеку України та багатьох країн світу. Її здатність адаптуватися до різних ґрунтово-кліматичних умов робить її особливо цінною для багатьох регіонів. Однак зміни клімату, зокрема підвищення температури, нерівномірний розподіл опадів і тривалі посухи, негативно впливають на продуктивність культури.

Якість картоплі визначається комплексом внутрішніх (колір м'якоті, вміст сухої речовини, крохмалю) та зовнішніх (розмір, форма, стійкість до механічних пошкоджень) ознак [1]. Внутрішні дефекти, такі як коричневий центр, порожниста серцевина та іржава плямистість можуть суттєво пошкодити її комерційну цінність, скоротити термін зберігання, а також зменшити загальні споживчі характеристики [2, 3]. На поживну цінність та якість картоплі впливає забезпеченість макро- та мікроелементами, проте цей вплив значно залежить від сорту, ґрунту та кліматичних умов [4–7].

Посуха є одним із головних стресових факторів, що порушує фізіологічні процеси картоплі, зокрема фотосинтез і водний баланс, спричиняючи зниження врожайності та зниження якості бульби [8]. Вона може виявити такі дефекти, як розтріскування, порожнистість серцевини та внутрішню іржаву плямистість. Остання є одним із найбільш поширених фізіологічних уражень картоплі [9]. Ідентифікування генотипів картоплі, стійких до цього фізіологічного внутрішнього дефекту, та оцінка впливу кліматичних факторів на розвиток хвороби є ключовими завданнями селекції.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Іржава плямистість бульб є серйозною проблемою для картоплярства, оскільки суттєво знижує якість продукції. Фізіологічний дефект проявляється через некротичні ураження внутрішніх тканин бульб, що обмежує їх придатність для харчування та переробки. Це порушення також має інші назви, такі як фізіологічний внутрішній некроз, внутрішні коричневі плями, шоколадну плямистість, внутрішній тепловий некроз та внутрішнє потемніння [10–12].

Розвиток цієї фізіологічної патології є складним процесом, в якому задіяні різні фактори, включаючи генетичні особливості сорту, несприятливі погодні умови та дефіцит поживних речовин [1, 10, 13–15]. Дослідження К. Zarzyńska та D. Boguszewska-Mańkowska [16] показали, що частота прояву дефектів бульб залежала від системи вирощування, тоді як погодні умови мали менший вплив, а сорт виявився найменш значущим фактором. В органічній системі виробництва спостерігалася менша кількість бульб з іржавою плямистістю порівняно з традиційною системою.

Дослідження показують, що первинним фактором, який запускає розвиток іржавої плямистості, є втрата цілісності клітинної мембрани, спричинена дефіцитом кальцію [1, 17]. Проте в дослідженнях S. Sterrett et al [18] відмічено, що рівні магнію, сірки та фосфору можуть мати більший вплив на формування стійкості, ніж кальцій. Зокрема, клони, стійкі до внутрішнього теплового некрозу, характеризувалися вищими рівнями марганцю та сірки, але нижчим фосфору, що свідчить про складну взаємодію мінерального складу тканин у розвитку фізіологічних розладів. Окрім того, важливу роль у патогенезі іржавої плямистості відіграє окислювальний стрес. Утворення некротичної тканини супроводжується збільшенням виробництва вільних радикалів та окисленням іонів металів, що може пошкоджувати клітинні компоненти та сприяти прогресуванню захворювання [19]. У поєднанні з іншими стресовими факторами, такими як порушення транспірації, дефіцит кальцію може посилювати негативний вплив на тканини бульб та сприяти розвитку захворювання. Окрім дефіциту кальцію, важливу роль у виникненні іржавої плямистості відіграють абіотичні фактори стресу, такі як високі температури, недостатнє зволоження ґрунту, особливо на пізніх етапах розвитку бульб або під час збирання врожаю [20]. Також встановлено, що кількість опадів, може впливати на розвиток захворювання [21]. Важливим фактором є водопостачання, оскільки F. Raimo et al [22] та G. Hajjar et al [23] показали, що на частоту внутрішніх коричневих плям впливало водопостачання. Іржаві плями, як правило, формуються під час стадії росту бульб, що

свідчить про їх тісний зв'язок з фізіологічними процесами, які відбуваються в цей період. За дослідженням А. Ibrahim et al [24] об'єм іржавих плям не змінювалися під час зберігання картоплі, що свідчить про стабільність прояву симптомів на момент збору врожаю.

Враховуючи складність і багатофакторність причин виникнення іржавої плямистості, аспектом є вивчення розвитку цього фізіологічного порушення в різних регіонах, зокрема на Поліссі України. Дослідження показують, що ця проблема є особливо актуальною для легких піщаних і суглинних ґрунтів [25–27], які переважають у цьому регіоні. В Поліському дослідницькому відділенні Інституту картоплярства тривалий час ведеться оцінка селекційного матеріалу на стійкість до іржавої плямистості бульби. Історично ця патологія картоплі була одним із ключових об'єктів наукових досліджень станції. Як зазначає Т. М. Олійник [28], одним із головних напрямків селекційної роботи ще з 1940-х років було створення високоврожайних сортів картоплі, стійких до фітофторозу, кільцевої гнилі, іржавої плямистості та інших захворювань. Значний внесок у вивчення цієї проблеми на Поліській дослідницькій станції свого часу зробили такі вчені, як О. Д. Белова (1932) [29], яка аналізувала залозувату плямистість картоплі, та Л. В. Рожалін (1936) [30], що досліджував природу залізистої плямистості бульб. Дослідження в цьому напрямку тривають і сьогодні. Ще на початку 20-них років минулого століття було розпочато оцінку міжсортівих і міжвидових гібридів вітчизняної селекції на стійкість до іржавої плямистості [31]. З огляду на те, що ґрунтово-кліматичні умови регіону сприяють прояву іржавої плямистості бульби, дослідження з оцінки сучасного селекційного матеріалу на стійкість до цього фізіологічного порушення тривають. Останніми роками було проведено низку робіт, присвячених оцінці стійкості сортів та селекційних гібридів на стійкість до фізіологічного дефекту бульб [32, 33].

З огляду на складність етіології та механізму формування іржавої плямистості, подальші дослідження, спрямовані на ідентифікацію генетично стійких сортів та розробку ефективних методів контролю цього фізіологічного порушення, є ключовими для забезпечення стабільного виробництва високоякісної культури.

У зв'язку з цим постає необхідність проведення комплексних досліджень, спрямованих на виявлення гібридів і сортів картоплі, що проявляють стійкість до іржавої плямистості. Скринінг таких зразків дозволить визначити перспективні форми для подальшої селекційної роботи та створення сортів, адаптованих до умов вирощування в Центральному Поліссі України.

Мета досліджень полягає у виявленні перспективних генотипів картоплі, стійких до іржавої плямистості бульб, шляхом порівняльного аналізу ефективності різних методів гібридизації та оцінки впливу погодних умов на розвиток фізіологічного ураження.

Завдання дослідження: провести порівняльний аналіз стійкості міжсортівих та міжвидових гібридів і сортів картоплі до іржавої плямистості бульб. Оцінити ефективність різних методів гібридизації для створення стійкого до фізіологічного дефекту бульб селекційного матеріалу. Виділити перспективні генотипи картоплі

та рекомендувати для селекції на стійкість до іржавої плямистості. Дослідити вплив абіотичних факторів на поширення і розвиток іржавої плямистості бульб.

Матеріали та методика досліджень. Дослідження проводилися в 2018–2024 рр. на провокаційних фонах лабораторії селекції картоплі Поліського дослідного відділення Інституту картоплярства НААН, розташованого в Житомирській області, Коростенського району, в межах східної частини Центрального Полісся України.

Предметом досліджень використали міжсортіві гібриди селекції картоплі Поліського дослідного відділення, міжвидові гібриди селекції генетичних ресурсів Інституту картоплярства та сорти української селекції, що належать до різних груп стиглості та відзначаються різним рівнем стійкості до іржавої плямистості бульб.

Ґрунти провокаційних фонів – дерново-слабопідзолисті піщані, сформовані на водно-льодовикових відкладах. Характеризуються дуже низьким вмістом гумусу (0,6–0,8 %), низькою ємністю поглинання (2,0–3,0 мг-екв/100 г ґрунту) та гідролітичною кислотністю (1,0–2,5 мг-екв/100 г ґрунту). Реакція ґрунтового розчину кисла (рН сольової витяжки 4,0–4,6). Вміст рухомих форм фосфору (P2O5) становить 20–25 мг/кг ґрунту, калію (K2O) – 15–20 мг/кг ґрунту. Насиченість основами – менше 50 %. Вологоємність ґрунту – менше 21 %. Ґрунти добре дренажовані, водний режим має виражений промивний характер, що зумовлює вимивання легкорозчинних мінеральних сполук за межі кореневої зони.

Стійкість селекційного матеріалу картоплі до іржавої плямистості бульб вивчали в польових умовах на провокаційному фоні. Дослідні ділянки закладено на легких піщаних ґрунтах із застосуванням прийнятої агротехніки, але без внесення органічних і мінеральних добрив. Дослідження проводили на однорядкових ділянках (12 кушів у рядку) з триразовою повторністю. Вивчення перспективного селекційного матеріалу тривало до трьох років, за умови, що гібриди не були вибраковані в процесі конкурсного екологічного сорто-випробування. Дослідження проводили відповідно до Методичних рекомендацій «Картоплярство: методика дослідної справи» [34]. Оцінку ураження бульб іржавою плямистістю здійснювали шляхом розрізання кожної бульби навпіл і визначення частки ураженої поверхні за 9-бальною шкалою. Для комплексної оцінки стійкості селекційного матеріалу використовували інтегральний показник, що враховує як поширення хвороби, так і ступінь її розвитку. Розрахунок здійснювали за формулою, розробленою для оцінки стійкості сортів картоплі до фітофторозу та альтернаріозу [35]:

$$K = \frac{P \times R}{100},$$

де: P – поширення хвороби, % R – розвиток хвороби, %.

Отриманий коефіцієнт, відповідно до розробленої шкали, визначає загальний бал стійкості зразка. Ця шкала має наступний вигляд: 9–8 балів (висока стійкість) – K < 0,24; 7–6 балів (стійкі) K = 0,25–1,10; 5–4 балів (середня стійкість) K = 1,20–5,99; 4–3 бали

(слабка стійкість) $K = 6,0\text{--}20,0$; 1 бал (нестійкий) $K > 20,0$. Аналіз динаміки розподілу вибірки досліджуваного селекційного матеріалу за ступенями стійкості до іржавої плямистості бульб у 2018–2024 рр. проведено із використанням об'єднаної шкали. Оскільки частка високостійких генотипів (9–8 балів) у деякі роки була низькою або взагалі відсутня, для оптимізації даних і підвищення їх інформативності форми згруповано разом зі стійкими (7–6 балів) у загальну категорію – «стійкі форми» (≥ 6 балів). Аналогічно, генотипи зі слабкою стійкістю (4–3 бали) та нестійкі (2–1 бал) об'єднано в градацію – «нестійкі форми» (≤ 4 балів). У подальшому аналізі результатів застосовано шкалу з розрізненням рівнів стійкості відповідно до методики, що дає змогу більш детально виокремити генотипи з різним рівнем резистентності до фізіологічного дефекту бульб.

Обґрунтованість застосування цього підходу підтверджена кореляційним аналізом, проведеним за період 2018–2024 рр. Встановлено високий рівень кореляції між поширеністю хвороби та ступенем її розвитку: в міжсортних гібридів $r = 0,81\text{--}0,97$, в міжвидових гібридів $r = 0,91\text{--}0,98$, в сортів $r = 0,75\text{--}0,96$. Ці результати свідчать про доцільність використання інтегрального показника для оцінки стійкості генотипів, оскільки він комплексно відображає реакцію рослин на ураження іржавою плямистістю бульб.

Для аналізу взаємозв'язку між поширенням і розвитком іржавої плямистості бульб картоплі та абіотичними факторами застосовано кореляційний (Пірсона) та регресійний аналіз із перевіркою значущості ($p < 0,05$). Статистичну обробку виконували у Microsoft Excel. Щоб уникнути мультиколінеарності, у модель включено три фактори: температуру серпня, опади червня й серпня. Побудовані регресійні моделі описують вплив цих факторів на хворобу. Дослідження охоплює 2015–2024 рр., що дозволило виявити довгострокові тенденції та підвищити достовірність прогнозу.

Вихідні дані для кореляційного аналізу. Для оцінки впливу погодних факторів на поширення (Y_{x1}) та розвиток (Y_{x2}) іржавої плямистості картоплі використано середньомісячні температури та кількість опадів літніх місяців (червень–серпень) за 2015–2024 роки (Табл. 1).

Результати досліджень. Порівняльний аналіз стійкості міжсортних і міжвидових гібридів та сортів картоплі до іржавої плямистості бульб. На рисунку 1 зображено динаміку розподілу вибірки дослідженого селекційного матеріалу за ступенями стійкості до іржавої плямистості бульби впродовж 2018–2024 рр. Загалом за цей період було опрацьовано 254 міжсортних гібриди (що відповідають 132 оригінальним генотипам), 283 міжвидових гібридів (115 ідентифікованим генотипам) та 85 сортів картоплі (27 самостійних генотипів). Окремі гібриди вивчали впродовж 1–3 років, тоді як деякі сорти картоплі оцінювалися 2–7 років поспіль.

Впродовж всього періоду досліджень найвища частка стійких форм (≥ 6 балів) спостерігалася в міжсортних гібридів. Середній рівень стійких генотипів (≥ 6 балів) серед міжсортних гібридів за весь період досліджень становив 59 % з коливаннями від 45 % в 2023 році до 85 % в 2020 році. Коефіцієнт варіації (V) дорівнював 23 %, що вказує на відносно незначну мінливість рівня стійкості впродовж років дослідження. Рівень середньої стійкості (5–4 балів) в межах цієї групи генотипів становив 28 % (від 12 % у 2020 році до 41 % в 2023 році) за $V = 28$ %. За весь період досліджень міжсортні гібриди виявили низьку стійкість (≤ 4 балів) на рівні 13 % (середнє значення), з мінімальним показником 3 % в 2020 році та максимальним – 19 % в 2019 році за $V = 41$ %.

Розподіл міжвидових гібридів за категоріями стійкості був більш рівномірним, ніж у міжсортних гібридів. Середній рівень стійкості міжвидових гібридів (≥ 6 балів) становив 41 % (коливання від 24 % в 2023 році до 86 % в 2020 році). Коефіцієнт варіації становить 55 %, що вказує на значну мінливість рівня стійкості залежно від року. Середній показник у межах даної групи селекційного матеріалу за середньою стійкістю (5–4 балів) склав 31 % (від 9 % в 2020 році до 40 % у 2022 році) за $V = 35$ %. Середня частка нестійких форм (≤ 4 балів) (28 %) була вищою, ніж у міжсортних гібридів, але нижчою, ніж у сортів із варіюванням від 5 % в 2020 р. до 42 % в 2024 р. за $V = 47$ %.

Сорти картоплі впродовж досліджень у більшості характеризувалися незначним відсотком стійких форм

Таблиця 1

Погодні параметри та поширення і ступеня розвитку іржавої плямистості бульб в 2015–2024 рр.

Рік	X1	X2	X3	X4	X5	X6	Yx1	Yx2
2024	20,4	24,2	23,1	15,5	4	10,3	22,6	9,9
2023	18,8	21,2	24,0	17,2	10,8	7,8	29,3	11
2022	21,4	20,3	22,9	19	25,3	17,7	24,4	10,2
2021	25,9	29,2	25,3	20,3	15,7	35	30,2	10,7
2020	26,5	26,1	26,5	37,7	8,7	0,01	8,3	2,7
2019	25,5	19,5	20,9	14,7	20,3	3,7	20,9	7,9
2018	20	20,7	21,2	23,7	31,5	9,3	33,1	13,1
2017	22,4	23,2	24,3	10,1	35,7	12,5	6,8	2,2
2016	22,5	23,3	21,5	32,0	45	10,5	41	19,2
2015	20,5	22,5	22,7	4,5	0,01	0,01	2,9	1,3

Примітка. X1, X2, X3 – середньомісячна температура відповідно у червні, липні, серпні (°C); X4, X5, X6 – середньомісячна кількість опадів у червні, липні, серпні (мм). Yx1 – відсоток поширення хвороби. Yx2 – ступінь розвитку хвороби, %.

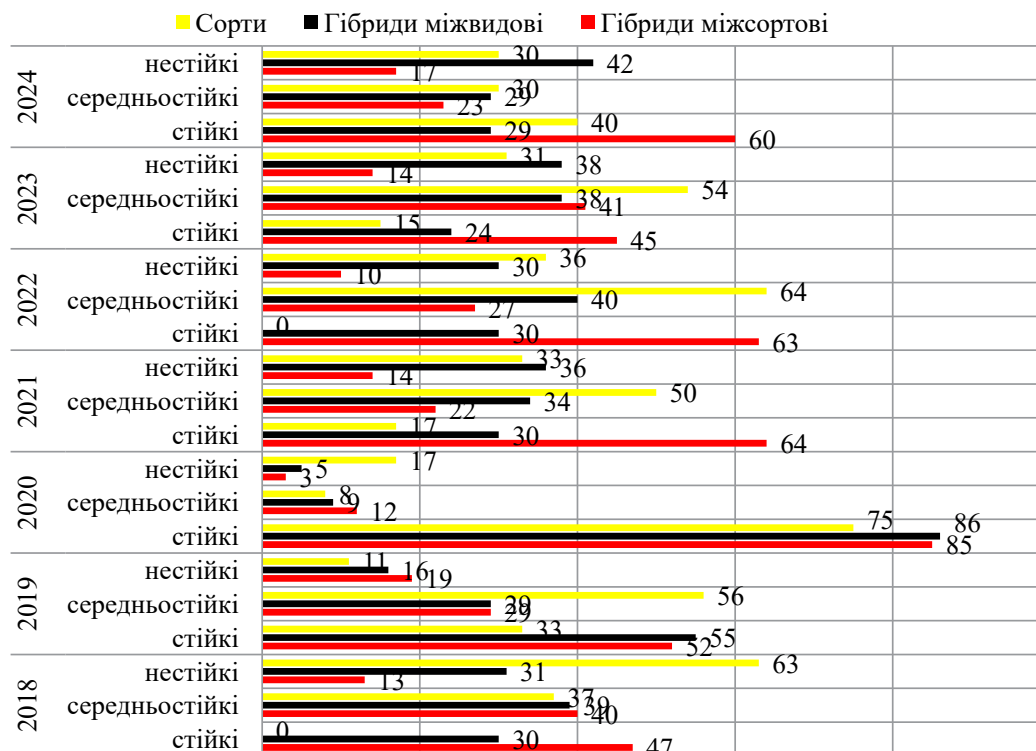


Рис. 1. Динаміка розподілу селекційного матеріалу картоплі за ступенями стійкості до іржавої плямистості бульб впродовж 2018–2024 рр.

(≥ 6 балів), за винятком 2020 року. У середньому рівень стійкості серед сортів становив 26 %, варіюючи від 0 % у 2018 та 2022 роках до 75 % в 2020 році. Коефіцієнт варіації (V) дорівнює 103 %, що вказує на значну мінливість рівня стійкості залежно від року дослідження. Водночас серед сортів картоплі переважала частка генотипів із середньою стійкістю (5–4 бали), що в середньому становила 43 % (з мінімальним значенням 8 % у 2020 році та максимальним 64 % у 2022 році, ($V = 45$ %)). Це свідчить про те, що для сортів картоплі характерне переважання генотипів саме із середнім рівнем стійкості, на відміну від стійких форм (26 %). Слід також відзначити тенденцію до найвищого відсотка виділення середньостійких сортів (5–4 бали) в 2019–2024 рр. порівняно з гібридами, що є характерною особливістю розподілу рівнів стійкості серед сортових генотипів. Частка нестійких генотипів (≤ 4 балів) серед сортів картоплі була найвищою впродовж усього періоду спостережень і в середньому становила 31 % ($V = 53$ %).

Отримані дані свідчать про те, що міжсортowa гібридизація є на сьогодні найефективнішим методом створення стійкого до іржавої плямистості бульб селекційного матеріалу. Міжсортowi гібриди характеризуються найвищим рівнем стійкості та найменшою мінливістю цього показника впродовж років дослідження. Міжвидові гібриди мають більш рівномірний розподіл за категоріями стійкості, але характеризуються значною мінливістю рівня стійкості залежно від року. Сорти картоплі мають найнижчий рівень стійких форм і найвищу мінливість цього показника, що свідчить про їх значну

залежність від умов навколишнього середовища. Водночас вони демонструють вищий відсоток форм із середньою резистентністю порівняно з гібридами, що вказує на ефект стабілізації цієї ознаки. Це зумовлено селекційною практикою, у процесі якої екстремальні варіанти вибираються, а перевага надається більш стабільним формам.

Результати дослідження підкреслюють важливість комплексного підходу до створення стійкого до іржавої плямистості селекційного матеріалу, який включає використання різних методів гібридизації, ретельний відбір генотипів та постійне оновлення сортового складу.

Ідентифікація перспективних гібридів і сортів картоплі, стійких до іржавої плямистості за результатами багаторічного оцінювання.

Результати багаторічного дослідження (2018–2024 рр.) стійкості селекційного матеріалу до фізіологічного ураження бульб дозволили ідентифікувати групу перспективних гібридів та сортів картоплі, які можуть бути використані для подальшої селекції з метою створення нових сортів стійких до іржавої плямистості, в умовах Центрального Полісся України. За результатами скринінгу було виділено генотипи, які за середнім значенням за три роки показали рівень стійкості від 9 балів (максимальний рівень високої стійкості) до 4 балів (найнижча оцінка середньої стійкості).

Період досліджень 2018–2020 рр. *Високостійкі* (8–9 балів): Міжсортовий гібрид: П.12.21/2; Міжвидові гібриди: Г10.6/7, Г16-19, Г10.7/13; *Стійкі* (6–7 балів): Міжсортовий гібрид: П.13.42/3 і П.12.31/3; Міжвидові

гібриди Г10.6/23, Г10.3/11, Г10.6г.14, Г10.6/30; Сорти Тирас і Партнер; *Середньостійкі* (5–4 балів): Міжсортові генотипи П.12.16/12 і П.11.17-1; Міжвидові гібриди Г10.20/1, Г10.6Г73, Г10.6Г93, ВМ12.22-2; Сорти Явір, Левада, Нагорода і Тетерів.

Слід зазначити, що гібриди П.12.16/12 та П.11.17-1 в 2023 році завершили державне сортопробування в мережі УІЕСР під назвами Роставиця (Патент № 230706 від 14.11.2023) і Фанатка (Патент № 230707 від 14.11.2023) та занесені до Державного реєстру сортів, придатних до поширення в Україні, на 2024 рік.

Період досліджень 2019–2021 рр.: *Високостійкі* (8–9 балів): Міжсортові гібриди П.12.14-8, П.13.29-5, П.14.3/5, П.14.73/9, П.13.26/13, П.13.52-11, П.13.48-22, П.12.4-3; Міжвидові гібриди Г13.9с15, Г12.99/5, Г12.29/14, Г08.194/33, Г13.47/62, Г14.2/8, Г13.55/22; Сорт Тирас; *Смійкі* (6–7 балів): Міжсортові гібриди П.12.15-9; Міжвидові гібриди Г13.55/22, Г13.28с93, Г12.95/2, Г13.37с⁵, Г08.173/9, Г09.236с¹, Г08.195/73, Г12.10/1, Г13.47/63, Г08.197/105, Г08.194/119, Г14.4/11, Г08.195/89, Г13.52/35; Сорт Партнер; *Середньостійкі* (5–4 балів): Міжсортові генотипи П.14.64/3, П.12.16-16, П.13.22/3; Міжвидові гібриди Г09.4Г72, Г13.5с¹, Г08.194/122, Г08.195/26, Г08.194/50, Г08.182/59, Г12.10/15, Г08.136г138, Г08.161с79, Г08.194/81, Г10.1г53, Г10.1Г47, Г12.37/70, Г13.49/32, Г12.24/14; Сорти Альянс, Левада, Тетерів, Явір, Нагорода і Червона рута.

Період досліджень 2020–2022 рр.: *Високостійкі* (8–9 балів): Міжсортові гібриди П.15.5/10 і П.14.17-14; Міжвидові гібриди Г15.9/1; *Смійкі* (6–7 балів): Міжсортові гібриди П.14.49-7 і П.14.64-2; Міжвидові гібриди Г15.2/1; Сорти Тирас, Партнер і Скарбниця; *Середньостійкі* (5–4 балів): Міжсортові генотипи П.14.43-18, П.15.5/27, П.15.43-7; Міжвидові гібриди Г15.7/98, Г13.47/63, Г13.49/45, Сорти Левада, Альянс, Тетерів, Червона рута, Явір, Слов'янка і Нагорода.

Період досліджень 2021–2023 рр.: *Високостійкі* (8–9 балів): не виділено жодного генотипу картоплі; *Смійкі* (6–7 балів): Міжсортові гібриди П.15.36-3, П.15.87-2 і П.17.38/4; Міжвидові гібриди Г15.24/12 і Г14.16/8; *Середньостійкі* (5–4 балів): Міжсортові генотипи П.17.12/16, П.17.28-2, П.17.38/16, 3.16.40/2; Міжвидові гібриди Г15.2/1, Г15.5/12, Г15.7/15, Г15.10/14, Г13.49/45; Сорти Партнер, Тирас і Скарбниця.

В 2024 році (згідно з рішенням Вченої ради Інституту картоплярства, протокол № 8 від 7.11.2024) середньостиглий гібрид П.15.36-3 ((Барбара / Радич) / Тирас) / Альянс) з групи міжсортових гібридів, який характеризується високою врожайністю (15,1 т/га на 75-й день після садіння та 35,9 т/га при основному збиранні), середньою масою товарної бульби (78–110 г), вмістом крохмалю 16,8–18,2 %, вмістом редуруючих цукрів 0,08 % та високими споживчими якостями (8–8,3 бали), а також комплексною стійкістю до біотичних та абіотичних факторів (висока резистентність до посухи, стійкість проти карантинних збудників (звичайного та двох агресивних патотипів раку картоплі та золотистої картопляної нематоди), відносно висока резистентність проти парші звичайної, альтернаріозу (листя) і іржавої плямистості

та середня стійкість проти фітофторозу, був переданий в Державне сортопробування до мережі УІЕСР під назвою Дивина (Заявка № 24088012 від 20.11.2024 р.).

Період досліджень 2022–2024 рр. *Високостійкі* (8–9 балів): Міжсортові гібриди П.17.43/1 і П.17.20-3; *Смійкі* (6–7 балів): Міжсортові гібриди П.17.34/8, П.17.39/22, П.16.50-16; Сорт Партнер; *Середньостійкі* (5–4 балів): Міжсортові генотипи П.16.16-9, П.17.21/36, П.17.29/21, П.17.13/7, П.17.24/50, П.17.4/13, 3.16.59-10; Сорти Тирас і Альянс.

Слід зазначити, що оцінка проводилася на основі середніх значень за три роки, що дозволяє врахувати як генетичну стійкість генотипів, так і їхню здатність адаптуватися до змінних умов.

На прикладі сортів Тирас, Партнер, Альянс і Серпанок (рис. 2) простежується коливання рівня стійкості до іржавої плямистості бульб в різні періоди досліджень.

Сорт Партнер демонструє найбільшу стабільність, оскільки його рівень резистентності майже не змінюється впродовж років дослідження. Натомість, сорт Тирас характеризується значними коливаннями рівня стійкості, зокрема, зі зниженням в останні роки, що свідчить про його чутливість до умов вирощування. Сорт Альянс має нестабільну середню стійкість, яка знизилася до рівня слабкої у 2021–2023 роках. Серпанок виявився найбільш сприйнятливим до іржавої плямистості, демонструючи низьку стійкість впродовж усього періоду досліджень.

Аналіз стійкості цих сортів підтвердив, що гібриди в цілому характеризуються вужчим діапазоном коливань стійкості до фізіологічного дефекту бульб порівняно з гібридами. Це можна пояснити селекційним відбором на стабільніші ознаки та відбракуванням варіантів з екстремальними значеннями.

Отже, сорт Партнер є найбільш стабільним щодо прояву ознаки, у сорту Тирас стійкість коливається від високого до середнього ступеню, Альянс – від середнього до слабкого, тоді як сорт Серпанок залишається найбільш вразливим, змінюючи рівень стійкості від слабкого до нестійкого. Ці результати підкреслюють генетично обумовлену природу стійкості та її залежність від екологічних факторів.

Отримані результати можуть бути використані для подальшого створення сортів картоплі з підвищеною стійкістю до іржавої плямистості бульб, що сприятиме покращенню якісних і споживчих показників бульб та збільшенню обсягів якісної товарної продукції картоплярства в умовах Центрального Полісся України.

Аналіз впливу погодних факторів на розвиток іржавої плямистості картоплі. Для дослідження впливу кліматичних факторів на поширення і розвиток іржавої плямистості бульб картоплі використано статистичний аналіз – кореляційний та регресійний. З метою досягнення необхідної статистичної потужності та зменшення похибки моделі, період дослідження розширено до 2015–2024 рр. (основний період дослідження селекційного матеріалу картоплі 2018–2024 рр.). Розширення періоду аналізу дало змогу виявити загальні тенденції впливу

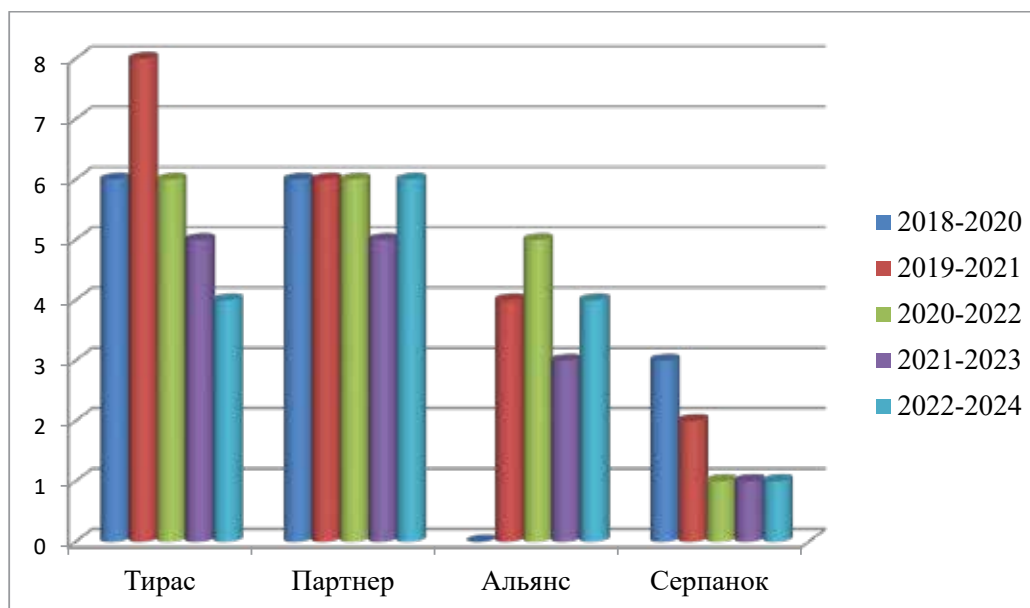


Рис. 2. Варіабельність стійкості сортів картоплі до іржавої плямистості бульб в різні періоди досліджень, бал

середньомісячних температур та опадів літніх місяців на поширення і розвиток іржавої плямистості бульб.

Кореляційний аналіз взаємозв'язку між поширенням (Y_{x1}) і розвитком (Y_{x2}) іржавої плямистості та кліматичними факторами (X_1 – X_6) виявив мультиколінеарність між деякими факторами (рис. 3). Зокрема, встановлено сильну позитивну кореляцію між температурою липня та температурою серпня ($r = 0,73$; $p = 0,017$). Спостерігається помірна позитивна кореляція між температурами червня та липня ($r = 0,51$), температурами червня та серпня ($r = 0,38$), температурою червня та опадами червня ($r = 0,41$), температурою липня та опадами серпня ($r = 0,51$). Опади червня, липня та серпня також показали помірний позитивний зв'язок як із поширенням хвороби ($r = 0,41$; $0,49$; $0,44$ відповідно), так і з розвитком ступеня ураження ($r = 0,42$; $0,53$; $0,36$ відповідно). Між температурою серпня та опадами липня виявлено помірну негативну кореляцію ($r = -0,39$).

Для уникнення негативного впливу мультиколінеарності на результати регресійного аналізу та забезпечення статистичної значущості моделі, було обрано три фактори: температуру серпня, опади червня та опади серпня. Вибір цих абіотичних факторів обумовлено важливим значенням їх на ріст та розвиток картоплі, а також потенційним впливом на розвиток іржавої плямистості бульб. Температура серпня є періодом активного накопичення маси бульб, що робить її критичним фактором для формування врожаю та стійкості рослин до хвороби. Опади в червні та серпні впливають на водний баланс рослин та можуть створювати сприятливі або несприятливі умови для розвитку фізіологічного ураження бульб, залежно від інших факторів, таких як тип ґрунту та вміст поживних речовин. Відмітимо, що дерново-слабопідзолистий піщаний ґрунт, що характеризується кислою реакцією ґрунтового розчину та високим вмістом сполук заліза та алюмінію, має низьку і нижче

середньої забезпеченість рухомим фосфором. Кисла реакція ґрунтового розчину сприяє переходу поживних речовин у важкодоступні для рослин форми. Як відомо з літератури, на таких ґрунтах опади можуть сприяти вимиванню фосфору з кореневмісного шару ґрунту та утворенню важкодоступних для рослин сполук фосфору з залізом та алюмінієм [36, 37]. Дефіцит фосфору в ґрунті, в свою чергу, є однією з причин розвитку іржавої плямистості бульб картоплі [38, 39].

Використання саме цих трьох факторів (температура серпня, опади червня та опади серпня) дозволило зменшити мультиколінеарність та отримати більш стабільні та інтерпретовані результати регресійного аналізу, враховуючи особливості ґрунтових умов, що можуть впливати на поширення і ступеня розвитку іржавої плямистості бульб.

В результаті регресійного аналізу було отримано наступну модель:

$$Y_{x1} = 109,67 - 4,73 * X_3 + 0,74 * X_4 + 0,73 * X_6,$$

де Y_{x1} – поширення хвороби (в % уражених бульб), X_3 – температура серпня ($^{\circ}\text{C}$), X_4 – опади червня (мм), X_6 – опади серпня (мм).

Отримана модель описує залежність між поширенням іржавої плямистості та досліджуваними абіотичними факторами. Встановлено, що збільшення температури серпня на 1°C призводить до зменшення поширення хвороби на $4,73\%$ уражених бульб ($p = 0,014$). Збільшення кількості опадів в червні на 1 мм призводить до підвищення поширення хвороби на $0,74\%$ уражених бульб ($p = 0,025$). Зростання кількості опадів в серпні на 1 мм призводить до збільшення поширення хвороби на $0,73\%$ уражених бульб ($p = 0,021$). Коефіцієнт детермінації R^2 становить $0,79$, що свідчить про те, що модель пояснює 79% варіації поширення хвороби. F -критерій дорівнює $7,37$ ($p = 0,019$), що свідчить про статистичну значущість моделі в цілому.



Рис. 3. Кореляційна матриця між кліматичними факторами та поширенням і розвитком іржавої плямистості бульб картоплі (за період 2015–2024 рр.)

Примітка: X1, X2, X3 – середньомісячна температура червня, липня і серпня; X4, X5, X6 – середньомісячна кількість опадів в червні, липні і серпні; Yx1 – поширення хвороби виміряне в % уражених бульб; Yx2 – розвиток хвороби виміряне в % ступені поширення на розрізі бульб; * – позитивна статистично значуща кореляція при $p < 0,05$.

Джерело: Складено авторами цього дослідження

За результатами регресійного аналізу щодо ступеня розвитку хвороби було розроблено аналогічну модель:

$$Yx2 = 52,05 - 2,28 * X3 + 0,34 * X4 + 0,29 * X6,$$

де Yx2 – ступень розвитку хвороби (%), X3 – температура серпня (°C), X4 – опади червня (мм), X6 – опади серпня (мм). Отримана модель описує залежність між ступенем розвитку іржавої плямистості та досліджуваними абіотичними факторами. Зростання температури серпня на 1 °C призводить до зменшення ступеня розвитку хвороби на 2,08 % уражених бульб ($p = 0,009$). Збільшення кількості опадів в червні на 1 мм призводить до підвищення показника розвитку хвороби на 0,34 % уражених бульб ($p = 0,019$). Посилення кількості опадів в серпні на 1 мм призводить до росту значення розвитку хвороби на 0,29 % уражених бульб ($p = 0,033$). Коефіцієнт детермінації R^2 становить 0,80, що свідчить про те, що модель пояснює 80 % варіації розвитку хвороби. F-критерій дорівнює 7,80 ($p = 0,017$), що свідчить про статистичну значущість моделі в цілому.

На рисунку 4 зображено графік фактичних та прогнозованих значень поширення іржавої плямистості бульб картоплі (Yx1) за період 2015–2024 рік. Фактичні значення демонструють значні коливання рівня ураження бульб іржавою плямистістю протягом досліджуваного періоду, з піками у 2016, 2018 та 2021 роках та спадами в 2015, 2017, 2020 та 2024 роках. Прогнозовані

значення, отримані за допомогою моделі регресійного аналізу, відображають загальну тенденцію та циклічність змін, проте мають меншу амплітуду коливань порівняно з фактичними значеннями.

На рисунку 5 зображено динаміку фактичних та прогнозованих значень ступеня розвитку фізіологічного ураження в бульбах картоплі іржавою плямистістю (%) за період 2015–2024 рр.

Аналіз графіку виявив значні коливання рівня розвитку хвороби впродовж досліджуваного періоду, з піковими значеннями в 2016 та 2018 роках, що свідчить про сприятливі для розвитку іржавості погодні умови (температура серпня та опади в червні й серпні). Мінімальні рівні розвитку хвороби спостерігалися в 2017 та 2020 роках, що можна пояснити менш сприятливими для розвитку фізіологічного дефекту погодними умовами. Прогнозована динаміка (червона лінія) в цілому добре узгоджується з фактичними значеннями (синя пунктирна лінія), особливо в роки з плавними змінами (2015–2016, 2020–2024). Найбільші розбіжності між прогнозом та фактичними значеннями спостерігаються у 2018, 2019, 2021 роках, де прогнозована ураженість значно перевищує фактичну. Це може бути пов'язано з впливом факторів, які не були враховані у моделі (наприклад, стійкість сортів картоплі до іржавої плямистості, особливості агрохімічного складу ґрунтів тощо). Після 2020 року коливання рівня ураження

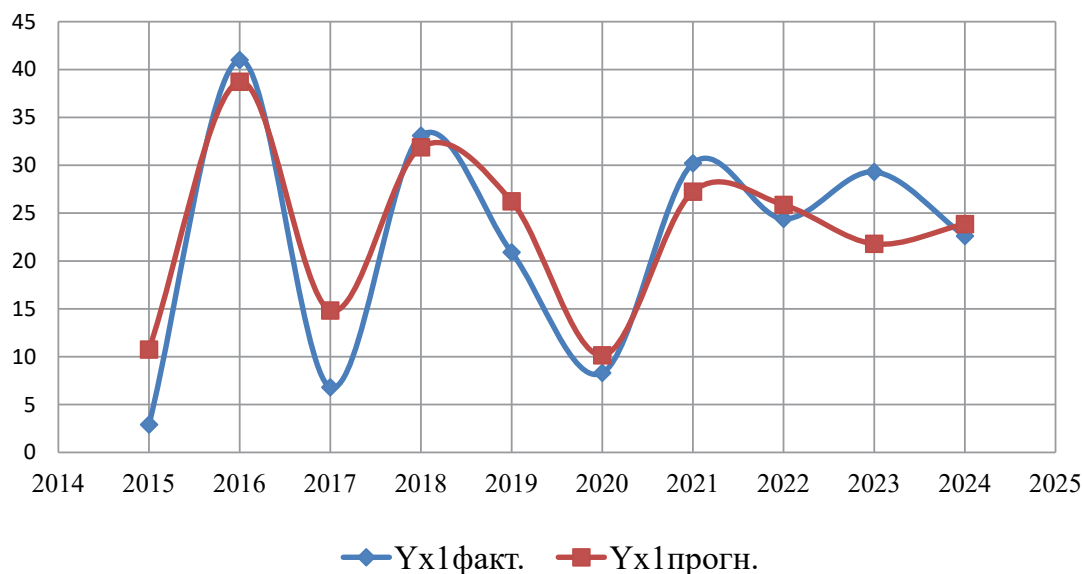


Рис. 4. Фактичні та прогнозовані показники ураженості бульби (%) картоплі іржавою плямистістю залежно від погодних факторів (2015–2024 рр.)

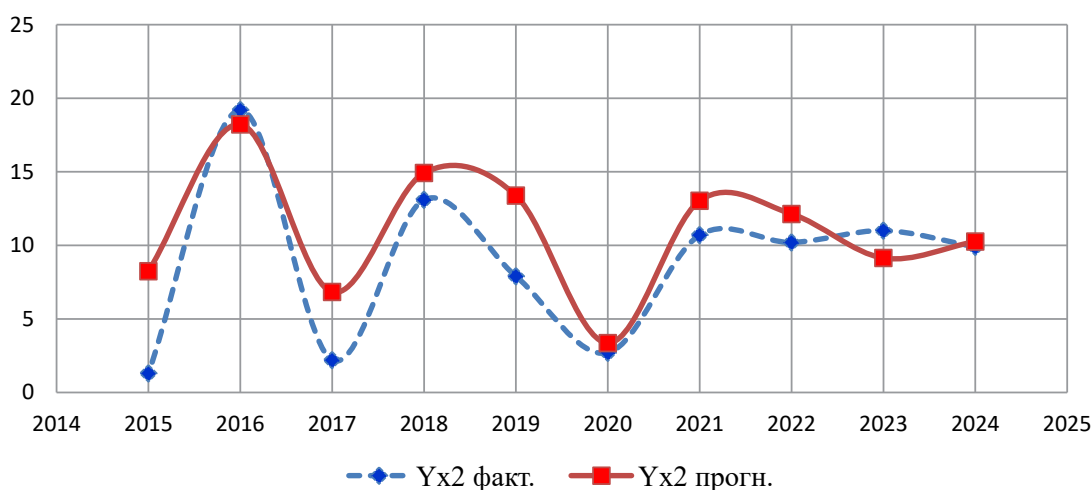


Рис. 5. Фактичні та прогнозовані показники розвитку захворювання бульби (%) картоплі іржавою плямистістю залежно від погодних факторів (2015–2024 рр.)

зменшуються, а прогнозована лінія демонструє відносно стабільний рівень прояву фізіологічного ураження на рівнях 8–12 %. Це може свідчити про те, що погодні фактори менш критично впливають на розвиток хвороби в останні роки, або ж існують інші чинники, які регулюють її розвиток (наприклад, виведення більш стійких генотипів картоплі).

Отримані результати свідчать про те, що поширення і розвитку іржавої плямистості бульб картоплі має тенденцію до циклічності. Модель регресійного аналізу відображає загальну тенденцію, проте в окремі роки спостерігаються значні відхилення фактичних значень від прогнозованих, що може бути зумовлено впливом екстремальних факторів, які не були враховані в моделі (абіотичні чи біотичні). Одним із головних факторів, який

не був врахований у моделях, є стійкість селекційного матеріалу до іржавої плямистості бульб.

Дослідження проводилися з метою оцінки міжсортних та міжвидових гібридів і сортів картоплі до іржавої плямистості бульб. У зв'язку з цим, порівняння між різними формами картоплі проводилося залежно від року дослідження. Різні сорти та гібриди картоплі можуть мати різну стійкість до цього захворювання, що безпосередньо впливає і на рівень ураження бульб. Отримані результати свідчать про те, що рівень ураження іржавою плямистістю варіювався не тільки залежно від погодних умов, але й від стійкості конкретного селекційного матеріалу.

Висновки. Дослідження (2018–2024 рр.) показали суттєві відмінності в реакції селекційного матеріалу

культури, створеного різними методами гібридизації, на іржаву плямистість бульб. Встановлено, що міжсортна гібридизація є найбільш ефективним методом створення стійких до фізіологічного ураження бульб генотипів. Міжвидові гібриди демонструють більш рівномірний розподіл за рівнем стійкості, що свідчить про ширшу генетичну варіабельність. Сорти картоплі мають найнижчий рівень стійкості та найвищу мінливість цього показника, що зумовлено їхньою залежністю від умов навколишнього середовища. Водночас у них переважають форми із середньою резистентністю, що є наслідком селекційної стабілізації ознаки. Виділено перспективні міжсортні і міжвидові гібриди та сорти картоплі, які можуть бути використані в селекції для створення нових стійких сортів картоплі. Результати дослідження підтвердили, що рівень стійкості до іржавої плямистості варіює залежно від особливостей сорту картоплі. Це обумовлено генетичними факторами та впливом умов вирощування та чітко простежується на прикладі залучених у дослідження сортів, зокрема, від стабільної стійкості у сорту Партнер до високої сприйнятливості у сорту Серпанок. Виявлено, що температура серпня, а також кількість опадів у червні та серпні є ключовими факторами, які впливають на розвиток іржавої плямистості. Побудована модель регресійного аналізу підтвердила залежність між погодними факторами та поширенням і розвитком фізіологічного ураження бульб.

Отримані результати можуть бути використані для вдосконалення методів оцінки стійкості селекційного матеріалу картоплі та прогнозування розвитку іржавої плямистості бульб в умовах Центрального Полісся України.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ:

1. Naumann M., Koch M., Thiel H., Gransse A., & Pawelzik E. The importance of nutrient management for potato production part II: plant nutrition and tuber quality. *Potato Research*. 2020. Vol. 63. P. 121–137. <https://doi.org/10.1007/s11540-019-09430-3>
2. Rady A. M., & Guyer D. E. Rapid and/or nondestructive quality evaluation methods for potatoes: a review. *Computers and Electronics in Agriculture*. 2015. Vol. 117. P. 31–48. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2015.07.002>
3. Chang J., Liao D., Li J., Li J., Li Z., Chen X., Song Z., & Zhang B. Calcium deficiency leads to fruit blackheart formation by disrupting glycometabolism and phenylpropanoid metabolism in wax gourd. *Postharvest Biology and Technology*. 2024. Vol. 211. 112851. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2024.112851>
4. Sowokinos J. R. Internal physiological disorders and nutritional and compositional factors that affect market quality. In D. Vreugdenhil, J. Bradshaw, C. Gebhardt, F. Govers, D. K. L. Mackerron, M. A. Taylor, & H. A. Ross (Eds.). *Potato biology and biotechnology*. 2007. Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-444-51018-1/50065-8>
5. Lombardo S., Lo Monaco A., Pandino G., Parisi B., & Mauromicale G. The phenology, yield and tuber composition of 'early' crop potatoes: a comparison between organic and conventional cultivation systems. *Renewable Agriculture and Food Systems*. 2013. Vol. 28(1). P. 50–58. doi:10.1017/S1742170511000640
6. Brazinskiene V., Asakaviciute R., Miezelienė A., Alencikiene G., Ivanauskas L., Jakstas V., ... & Razukas A. Effect of farming systems on the yield, quality parameters and sensory properties of conventionally and organically grown potato (*Solanum tuberosum* L.) tubers. *Food Chemistry*. 2014. Vol. 145. P. 903–909. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2013.09.011>
7. Mikitzel L. Tuber Physiological Disorders. In D. A. Navarre & M. J. Pavék (Eds.). *The Potato: Botany, Production and Uses*. 2014. CABI, P. 237–254. <https://doi.org/10.1079/9781780642802.0237>
8. Deblonde P. M. K., & Ledent J. F. Effects of moderate drought conditions on green leaf number, stem height, leaf length and tuber yield of potato cultivars. *European Journal of Agronomy*. 2001. Vol. 14. P. 31–41. doi:10.1016/s1161-0301(00)00081-2
9. Dahal K., Li X.-Q., Tai H., Creelman A., & Bizimungu B. Improving potato stress tolerance and tuber yield under a climate change scenario – a current overview. *Frontiers in Plant Science*. 2019. Vol. 10. 563. doi:10.3389/fpls.2019.00563
10. Yencho G. C., McCord P. H., Haynes K. G., Henninger M. R., & Clough M. E. Internal heat necrosis of potato—A review. *American Journal of Potato Research*. 2008. Vol. 85. P. 69–76. <https://doi.org/10.1007/s12230-008-9008-4>
11. Potatoes South Africa. Physiological tuber disorders fact sheet. 2016. <https://www.potatoes.co.za/wp-content/uploads/2022/09/11.-Physiological-Tuber-Disorders-Fact-Sheet-2016.pdf> (Accessed February 24, 2025).
12. Nxumalo K. A., Masarirambi M. T., Mabuza M., Muziri T., & Masarirambi T. Common physiological disorders of white/Irish potato (*Solanum tuberosum*) tubers produced in Swaziland: A review. *Journal of Agronomy and Agricultural Science*. 2017. Vol. 1. 001. DOI:10.24966/AAS-8292/100001
13. Schumann M. J., Zeng Z.-B., Clough M. E., & Yencho G. C. Linkage map construction and QTL analysis for internal heat necrosis in autotetraploid potato. *Theoretical and Applied Genetics*. 2017. Vol. 130. P. 2045–2056. <https://doi.org/10.1007/s00122-017-2941-1>
14. Pentangelo A., Raimo F., Parisi B., Mandolino G., & Pane C. Effects of highly concentrated KCl foliar spray for managing the occurrence of the internal brown spot, a physiological disorder of potato tubers. *The Journal of Horticultural Science and Biotechnology*. 2021. Vol. 96(4). P. 527–537. <https://doi.org/10.1080/14620316.2020.1869108>
15. Gautam S., Pandey J., Scheuring D. C., Koym J. W., & Vales M. I. Genetic basis of potato tuber defects and identification of heat-tolerant clones. *Plants*. 2024. Vol. 13(5). 616. <https://doi.org/10.3390/plants13050616>
16. Zarzyńska K., & Boguszewska-Mańkowska D. Commercial quality of potato tubers of different varieties from organic and conventional production system. *Agronomy*. 2024. Vol. 14(4). 778. <https://doi.org/10.3390/agronomy14040778>
17. Palta J. P. Improving potato tuber quality and production by targeted calcium nutrition: the discovery of tuber roots leading to a new concept in potato nutrition. *Potato Research*. 2010. Vol. 53. P. 267–275 <https://doi.org/10.1007/s11540-010-9163-0>
18. Sterrett S. B., Haynes K. G., Yencho G. C., Henninger M. R., & Vinyard B. T. 4×–2× potato clones with resistance or

- susceptibility to internal heat necrosis differ in tuber mineral status. *Crop Science*. 2006. Vol. 46. P. 1471–1478. <https://doi.org/10.2135/cropsci2005.06-0093>
19. Monk L. S., McPhail D. B., Goodman B. A., & Davies H. V. An electron spin resonance investigation of internal rust spot, a physiological disorder of the potato tuber. *Free Radical Research Communications* 1989. Vol. 5(6). P. 345–350. <https://doi.org/10.3109/10715768909073417>
 20. Sterrett S. B., Henninger M. R., Lee G. S. Relationship of Internal Heat Necrosis of Potato to Time and Temperature after Planting. *Journal of the American Society for Horticultural Science*. 1991. Vol. 116. Iss. 4. P. 697–700. DOI: <https://doi.org/10.21273/JASHS.116.4.697>
 21. Sterrett S., Lee G., Henninger M., & Lentner M. Predictive Model for Onset and Development of Internal Heat Necrosis of Atlantic Potato. *Journal of the American Society for Horticultural Science*. 1991. Vol. 116. Iss. 4. P. 701–705. DOI: <https://doi.org/10.21273/JASHS.116.4.701>
 22. Raimo F., Pentangelo A., Pane C., Parisi B., & Mandolino G. Relationships Between Internal Brown Spot and Skin Roughness in Potato Tubers Under Field Conditions. *Potato Research*. 2018. Vol. 61. P. 327–339. DOI: [10.1007/s11540-018-9380-5](https://doi.org/10.1007/s11540-018-9380-5)
 23. Hajjar G., Quéllec S., Pépin J., Challos S., Joly G., Bontemps J. D., Belin É., Prevost J., & Gorretta N. MRI investigation of internal defects in potato tubers with particular attention to rust spots induced by water stress. *Postharvest Biology and Technology*. 2021. Vol. 180. 111600. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2021.111600>
 24. Ibrahim A., Grassi M., Lovati L., Bruno P., Spinelli L., Torricelli A., Rizzolo A., & Vanoli M. Non-destructive detection of potato tubers internal defects: critical insight on the use of time resolved spectroscopy. *Advances in Horticultural Science*. 2020. Vol. 34(1S). P. 43–51. <https://doi.org/10.13128/ahsc-7653>
 25. Муравйов В. О., Мельник О. В., Духіна Н. Г., Семибратська Т. В., & Урюпіна Л. М. Вирощування картоплі в умовах Східного Лісостепу України: рекомендації. Вінниця: Твори, 2020. 48 с. https://ovoch.com/assets/files/library/methodical/2020/5-verstka_muravjov_a51.pdf
 26. Залізіста плямистість (іржавість бульб). Еліткартопля. [Електронний ресурс]. URL: <https://www.elitkartofel.com/zalizista-plyamistist-irzhastist-bulb> (дата звернення: 24.02.2025).
 27. Теслюк П. С., Кущенко В. С., Подгаєцький А. А., Мигловець О. П., Демкович Я. Б., Борівський А. Ф., Теслюк Л. П., Купрянов В. П. Хвороби та шкідники картоплі, заходи боротьби з ними. Київ: Ріджи, 2017. 232 с. ISBN 978-966-2544-29-9.
 28. Олійник Т. М. Історія розвитку селекції картоплі на Поліській дослідній станції імені О. М. Засухіна (1914–2018). *Історія науки і біографістика*. 2019. Вип. 2. URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/INB_Title_2019_2_16
 29. Белова, О. Д. Залозувата плямистість клубнів картоплі. *Українська зональна станція картоплярства*. 1932. Вип. 48. 23 с.
 30. Рожалін, Л. В. Природа залізістої плямистості бульб картоплі. *Праці Поліської сільськогосподарської станції*. 1936, Т. 6, С. 67–76.
 31. Подгаєцький А. А., Писаренко Н. В. Виділення міжсортів і міжвидових гібридів картоплі, стійких проти залізістої плямистості бульб. *Вісник Сумського національного аграрного університету. Серія: «Агрономія і біологія»*. 2004. Вип. 12 (10). С. 23–29.
 32. Писаренко Н. В., Сидорчук В. І., Гордієнко В. В. Оцінка сортів і вихідного селекційного матеріалу за стійкістю проти іржавої плямистості бульб. Проблеми аграрного виробництва на сучасному етапі і шляхи їх вирішення: *матеріали міжнародної науково-практичної конференції присвяченій ювілейним датам від дня народження видатних вчених-рослинників: 130-річчю від дня народження доктора біол. наук, професора Льва Миколайовича Делоне; 120-річчю від дня народження кандидата с.-г. наук Софії Михайлівни Фріденталь (1-2 липня 2021 р.)*. Харків: Інститут рослинництва імені В. Я. Юр'єва НААН, 2021. С. 233–237.
 33. Сидорчук В., Писаренко Н., Тактаєв Б., Собран В. Оцінка стійкості перспективного селекційного матеріалу картоплі проти основних хвороб та шкідників на природному та інфекційному фоні. *Міжвідомчий тематичний науковий збірник «Картоплярство»*. 2022. Вип. 46. С. 163–181. <https://potato-journal.com.ua/index.php/journal/article/view/13>
 34. Бондарчук А. А., Колтунов В. А. (Ред.). Картоплярство: методика дослідної справи. Вінниця: ТОВ «ТВОРИ», 2019. https://www.ikar.org.ua/_files/ugd/69bb4c_77462c9ea8804515b090c3254bffeada.pdf
 35. Трибель С. О., та ін. Методологія оцінювання сортозразків картоплі на стійкість проти основних шкідників і збудників хвороб. Київ: Аграрна наука, 2013. 264 с.
 36. Трускавецький, Р. С., Зубковська, В. В., Паламарь, Н. Ю. Вплив глейових процесів на фосфатний стан ґрунтів. *Вісник аграрної науки*, 2018. № 1. С. 18–24. doi.org/10.31073/agroviznyk201801-03
 37. Шувар І. Про родючість підставу потрібно дбати постійно (продовження). *Агрономія сьогодні*. 2011. 29 листопада. <https://agro-business.com.ua/agro/ahronomiia-sohodni/item/191-pro-rodichist-hruntu-treba-dbaty-postiino-prodovzhennia.html> (дата звернення: 24.02.2025).
 38. Роль фосфору при вирощуванні картоплі. *Yara Україна*. <https://www.yara.ua/crop-nutrition/potatoes/key-facts/growth-stage/role-of-phosphate/> (дата звернення: 24.02.2025).
 39. Положенець В. М., Станкевич С. В., Фурдига М. М., Немеріцька, Л. В. Журавська І. А., Станкевич М. Ю. Інтегрований захист картоплі від хвороб, шкідників і бур'янів. Житомир: ПП «Рута», 2024. 428 с. URL: <https://repo.btu.kharkov.ua/handle/123456789/49324>

REFERENCES:

1. Naumann, M., Koch, M., Thiel, H., Gransse, A., & Pawelzik, E. (2020). The importance of nutrient management for potato production part II: Plant nutrition and tuber quality. *Potato Research*. 63, 121–137. <https://doi.org/10.1007/s11540-019-09430-3>
2. Rady, A. M., & Guyer, D. E. (2015). Rapid and/or nondestructive quality evaluation methods for potatoes: A review. *Computers and Electronics in Agriculture*. 117, 31–48. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2015.07.002>

3. Chang, J., Liao, D., Li, J., Li, J., Li, Z., Chen, X., Song, Z., & Zhang, B. (2024). Calcium deficiency leads to fruit blackheart formation by disrupting glycometabolism and phenylpropanoid metabolism in wax gourd. *Postharvest Biology and Technology*. 211, 112851. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2024.112851>
4. Sowokinos, J. R. (2007). Internal physiological disorders and nutritional and compositional factors that affect market quality. In D. Vreugdenhil, J. Bradshaw, C. Gebhardt, F. Govers, D. K. L. Mackerron, M. A. Taylor, & H. A. Ross (Eds.), *Potato biology and biotechnology*. Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-044451018-1/50065-8>
5. Lombardo, S., Lo Monaco, A., Pandino, G., Parisi, B., & Mauromicale, G. (2013). The phenology, yield and tuber composition of 'early' crop potatoes: A comparison between organic and conventional cultivation systems. *Renewable Agriculture and Food Systems*, 28(1), 50–58. <https://doi.org/10.1017/S1742170511000640>
6. Brazinskiene, V., Asakaviciute, R., Miezelienė, A., Alencikiene, G., Ivanauskas, L., Jakstas, V., ... & Razukas, A. (2014). Effect of farming systems on the yield, quality parameters and sensory properties of conventionally and organically grown potato (*Solanum tuberosum* L.) tubers. *Food Chemistry*. 145, 903–909. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2013.09.011>
7. Mikitzel, L. (2014). Tuber physiological disorders. In D. A. Navarre & M. J. Pavek (Eds.), *The Potato: Botany, Production and Uses*. CABI, 237–254. <https://doi.org/10.1079/9781780642802.0237>
8. Deblonde, P. M. K., & Ledent, J. F. (2001). Effects of moderate drought conditions on green leaf number, stem height, leaf length and tuber yield of potato cultivars. *European Journal of Agronomy*. 14, 31–41. [https://doi.org/10.1016/S1161-0301\(00\)00081-2](https://doi.org/10.1016/S1161-0301(00)00081-2)
9. Dahal, K., Li, X.-Q., Tai, H., Creelman, A., & Bizimungu, B. (2019). Improving potato stress tolerance and tuber yield under a climate change scenario – a current overview. *Frontiers in Plant Science*. 10, 563. <https://doi.org/10.3389/fpls.2019.00563>
10. Yencho, G. C., McCord, P. H., Haynes, K. G., Henninger, M. R., & Clough, M. E. (2008). Internal heat necrosis of potato—A review. *American Journal of Potato Research*. 85, 69–76. <https://doi.org/10.1007/s12230-008-9008-4>
11. Potatoes South Africa. (2016). Physiological tuber disorders fact sheet. <https://www.potatoes.co.za/wp-content/uploads/2022/09/11.-Physiological-Tuber-Disorders-Fact-Sheet-2016.pdf>
12. Nxumalo, K. A., Masarirambi, M. T., Mabuza, M., Muziri, T., & Masarirambi, T. (2017). Common physiological disorders of white/Irish potato (*Solanum tuberosum*) tubers produced in Swaziland: A review. *Journal of Agronomy and Agricultural Science*. 1, 001. <https://doi.org/10.24966/AAS-8292/100001>
13. Schumann, M. J., Zeng, Z.-B., Clough, M. E., & Yencho, G. C. (2017). Linkage map construction and QTL analysis for internal heat necrosis in autotetraploid potato. *Theoretical and Applied Genetics*. 130, 2045–2056. <https://doi.org/10.1007/s00122-017-2941-1>
14. Pentangelo, A., Raimo, F., Parisi, B., Mandolino, G., & Pane, C. (2021). Effects of highly concentrated KCl foliar spray for managing the occurrence of the internal brown spot, a physiological disorder of potato tubers. *The Journal of Horticultural Science and Biotechnology*. 96(4), 527–537. <https://doi.org/10.1080/14620316.2020.1869108>
15. Gautam, S., Pandey, J., Scheuring, D. C., Koym, J. W., & Vales, M. I. (2024). Genetic basis of potato tuber defects and identification of heat-tolerant clones. *Plants*. 13(5), 616. <https://doi.org/10.3390/plants13050616>
16. Zarzyńska, K., & Boguszewska-Mańkowska, D. (2024). Commercial quality of potato tubers of different varieties from organic and conventional production system. *Agronomy*. 14(4), 778. <https://doi.org/10.3390/agronomy14040778>
17. Palta, J. P. (2010). Improving potato tuber quality and production by targeted calcium nutrition: the discovery of tuber roots leading to a new concept in potato nutrition. *Potato Research*. 53, 267–275. <https://doi.org/10.1007/s11540-010-9163-0>
18. Sterrett, S. B., Haynes, K. G., Yencho, G. C., Henninger, M. R., & Vinyard, B. T. (2006). 4×–2× potato clones with resistance or susceptibility to internal heat necrosis differ in tuber mineral status. *Crop Science*. 46, 1471–1478. <https://doi.org/10.2135/cropsci2005.06-0093>
19. Monk, L. S., McPhail, D. B., Goodman, B. A., & Davies, H. V. (1989). An electron spin resonance investigation of internal rust spot, a physiological disorder of the potato tuber. *Free Radical Research Communications*. 5(6), 345–350. <https://doi.org/10.3109/10715768909073417>
20. Sterrett, S. B., Henninger, M. R., & Lee, G. S. (1991). Relationship of internal heat necrosis of potato to time and temperature after planting. *Journal of the American Society for Horticultural Science*. 116(4), 697–700. <https://doi.org/10.21273/JASHS.116.4.697>
21. Sterrett, S., Lee, G., Henninger, M., & Lentner, M. (1991). Predictive model for onset and development of internal heat necrosis of Atlantic potato. *Journal of the American Society for Horticultural Science*. 116(4), 701–705. <https://doi.org/10.21273/JASHS.116.4.701>
22. Raimo, F., Pentangelo, A., Pane, C., Parisi, B., & Mandolino, G. (2018). Relationships between internal brown spot and skin roughness in potato tubers under field conditions. *Potato Research*. 61, 327–339. <https://doi.org/10.1007/s11540-018-9380-5>
23. Hajjar, G., Quéllec, S., Pépin, J., Challos, S., Joly, G., Bontemps, J. D., Belin, É., Prevost, J., & Gorretta, N. (2021). MRI investigation of internal defects in potato tubers with particular attention to rust spots induced by water stress. *Postharvest Biology and Technology*. 180, 111600. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2021.111600>
24. Ibrahim, A., Grassi, M., Lovati, L., Bruno, P., Spinelli, L., Torricelli, A., Rizzolo, A., & Vanoli, M. (2020). Non-destructive detection of potato tubers internal defects: critical insight on the use of time resolved spectroscopy. *Advances in Horticultural Science*. 34(1S), 43–51. <https://doi.org/10.13128/ahsc-7653>
25. Muraviov, V. O., Melnyk, O. V., Dukhina, N. H., Semybratska, T. V., & Uriupina, L. M. (2020). Vyroshchuvannia kartopli v umovakh Skhidnoho Lisostepu Ukrainy: rekomendatsii [Growing potatoes in the conditions of the Eastern Forest-Steppe of Ukraine: recommendations]. Vinnytsia: Tvory, 48. Retrieved from https://ovoch.com/assets/files/library/methodical/2020/5-verstka_muravjov_a51.pdf [in Ukrainian].

26. Zalizysta pliamistist (irzhavist bulb) [Rusty spot of tubers]. Elitkartoplia. Retrieved from <https://www.elitkartofel.com/zalizista-plyamistist-irzhavist-bulb> (Accessed: 24.02.2025) [in Ukrainian].
 27. Tesliuk, P. S., Kushchenko, V. S., Podhaetskyi, A. A., Myhlovets, O. P., Demkovych, Ya. B., Borivskyi, A. F., Tesliuk, L. P., & Kupriyanov, V. P. (2017). Khvoroby ta shkidnyky kartopli, zakhody borotby z nymy [Diseases and pests of potatoes, measures to control them]. Kyiv: Ridzhi, 232. ISBN 978-966-2544-29-9 [in Ukrainian].
 28. Oliinyk, T. M. (2019). Istoriia rozvytku selektsii kartopli na Polissii doslidnii stantsii imeni O.M. Zasukhina (1914–2018) [History of potato breeding development at the Polissia Research Station named after O.M. Zasukhin (1914–2018)]. *Istoriia nauky i bihrafistyka – History of Science and Biographicalistics*, 2. Retrieved from http://nbuv.gov.ua/UJRN/INB_Title_2019_2_16 [in Ukrainian].
 29. Bielova, O. D. (1932). Zalozyvata pliamistist klubniv kartopli [Glandular spotting of potato tubers]. *Ukrainska zonalna stantsiia kartopliarstva – Ukrainian Zonal Potato Research Station*, 48, 23 [in Ukrainian].
 30. Rozhalin, L. V. (1936). Pryroda zalizystoi pliamystosti bulb kartopli [Nature of rusty spot of potato tubers]. *Pratsi Poliskoi silskohospodarskoi stantsii – Proceedings of the Polissia Agricultural Station*, 6, 67–76 [in Ukrainian].
 31. Podhaetskyi, A. A., & Pysarenko, N. V. (2004). Vydilennia mizhsortovykh i mizhvydivykh hibrydiv kartopli, stiikykh proty zalizystoi pliamystosti bulb [Selection of intervarietal and interspecies potato hybrids resistant to rusty spot of tubers]. *Visnyk Sumskoho natsionalnoho ahrarnoho universytetu. Seriya: «Ahronomiia i biolohiia» – Bulletin of Sumy National Agrarian University. Series: «Agronomy and Biology»*, 12(10), 23–29 [in Ukrainian].
 32. Pysarenko, N. V., Sydorchuk, V. I., & Hordienko, V. V. (2021). Otsinka sortiv i vykhidnoho selektsiinoho materialu za stiikistiu proty irzhavoi pliamystosti bulb [Evaluation of varieties and initial breeding material for resistance to rusty spot of tubers]. *Problemy ahrarnoho vyrobnytstva na suchasnomu etapi i shliakhy yikh vyrishennia: materialy mizhnarodnoi naukovo-praktychnoi konferentsii, prysviachenii iubileinym datam vid dnia narodzhennia vydatnykh vchenykh-roslynnykiv: 130-richchiu vid dnia narodzhennia doktora biol. nauk, profesora Lva Mykolaiovycha Delone; 120-richchiu vid dnia narodzhennia kandydata s.-h. nauk Sofii Mykhailivny Fridental (1-2 lyupnia 2021 r.) [Problems of agricultural production at the present stage and ways to solve them: materials of the international scientific-practical conference dedicated to the anniversaries of outstanding plant scientists: the 130th anniversary of the birth of Doctor of Biological Sciences, Professor Lev Mykolaiovych Delone; the 120th anniversary of the birth of Candidate of Agricultural Sciences Sofia Mykhailivna Fridental (July 1-2, 2021)]*. Kharkiv: Instytut roslinnytstva imeni V.Ya. Yuriieva NAAN, 233–237 [in Ukrainian].
 33. Sydorchuk, V., Pysarenko, N., Taktaiev, B., & Sobran, V. (2022). Otsinka stiikosti perspektyvnoho selektsiinoho materialu kartopli do osnovnykh khvorob ta shkidnykh na pryrodnomu ta infektsiynomu tli [Evaluation of resistance of promising potato breeding material to major diseases and pests against natural and infectious background]. *Mizhvidomchyi tematychnyi naukovyi zbirnyk «Doslidzhennia kartopliarstva» – Interdepartmental Thematic Scientific Collection «Potato Research»*, 46, 163–181. Retrieved from <https://potato-journal.com.ua/index.php/journal/article/view/13> [in Ukrainian].
 34. Bondarchuk, A. A., & Koltunov, V. A. (Eds.). (2019). Kartopliarstvo: metodyka doslidnoi spravy [Potato growing: methodology of experimental work]. Vinnytsia: TOV «TVORY». Retrieved from https://www.ikar.org.ua/files/ugd/69bb4c_77462c9ea8804515b090c3254bf-feada.pdf [in Ukrainian].
 35. Trybel, S.O., et al. (2013). Metodolohiia otsiniuvannia sortozrazkiv kartopli na stiikist proty osnovnykh shkidnykh i zbudnykh khvorob [Methodology for evaluating potato varieties for resistance to major pests and pathogens]. Kyiv: Ahrarna nauka, 264 [in Ukrainian].
 36. Truskavetskyi, R. S., Zubkovska, V. V., & Palamar, N. Yu. (2018). Vplyv hleiovykh protsesiv na fosfatnyi stan rruntyv [Impact of gleying processes on the phosphate status of soils]. *Visnyk ahrarnoi nauky – Bulletin of Agricultural Science*, (1). Retrieved from https://agrovisnyk.com/pdf/ua_2018_01_03.pdf (Accessed: 24.02.2025) [in Ukrainian].
 37. Shuvar, I. (2011, November 29). Pro rodyuchist rruntyu potribno dbaty postijno (prodovzhennia) [Soil fertility must be constantly maintained (continuation)]. *Ahronomiia sohodni – Agronomy Today*. Retrieved from <https://agro-business.com.ua/agro/ahronomiia-sohodni/item/191-pro-rodychist-rruntyu-treba-dbaty-postino-prodovzhennia.html> (Accessed: 24.02.2025) [in Ukrainian].
 38. Roli fosforu pry vyroshchuvanni kartopli [The role of phosphorus in potato cultivation]. (n.d.). Yara Ukraina. Retrieved from <https://www.yara.ua/crop-nutrition/potatoes/key-facts/growth-stage/role-of-phosphate/> (Accessed: 24.02.2025) [in Ukrainian].
 39. Polozhenets, V. M., Stankevych, S. V., Furdyha, M. M., Nemerytska, L. V., Zhuravska, I. A., & Stankevych, M. Yu. (2024). Intehrovanyi zakhyst kartopli vid khvorob, shkidnykh i bur'ianiv [Integrated potato protection against diseases, pests, and weeds]. Zhytomyr: PP «Ruta», 428. Retrieved from <https://repo.btu.kharkov.ua/handle/123456789/49324> [in Ukrainian].
- Писаренко Н.В., Фурдига М.М., Захарчук Н.А., Гордієнко В.В. Скринінг гібридів та сортів картоплі на стійкості до іржавої плямистості бульб в умовах Центрального Полісся України**
- У статті представлено результати багаторічного дослідження (2018–2024 рр.) стійкості селекційного матеріалу картоплі до іржавої плямистості бульб, проведеного на провокаційних фонах в лабораторії селекції Поліського дослідного відділення Інституту картоплярства. **Метою** дослідження було встановити ефективність різних методів гібридизації для створення стійкого до іржавої плямистості селекційного матеріалу картоплі та дослідити вплив погодних умов на розвиток фізіологічного дефекту з метою ідентифікації перспективних генотипів для подальшої селекції. Для досягнення мети було використано міжсортіві гібриди власної селекції, міжвидові гібриди лабораторії генетичних ресурсів ІК та сорти різних груп стиглості української селекції. **Методи:** польовий – візуальне оцінювання поширення та ступеня розвитку хвороби на бульбах картоплі, вирощених на провокаційному фоні; статистичний – аналіз впливу погодних факторів на поширення і розвиток іржавої плямистості бульб картоплі з використанням

кореляційного та регресійного аналізу. Дослідження проводилися шляхом порівняльного аналізу стійкості міжсортних та міжвидових гібридів і сортів картоплі до іржавої плямистості бульб за конкретним роком досліджень, ідентифікації перспективних гібридів і сортів за результатами багаторічного оцінювання (середнє за три роки) та аналізу впливу погодних факторів на розвиток ураження хворобою. **Результати досліджень.** Встановлено, що міжсортна гібридизація є найбільш ефективним методом створення стійкого до іржавої плямистості матеріалу. Міжсортні гібриди характеризуються найвищим рівнем стійкості та найменшою мінливістю цього показника. Міжвидові гібриди демонструють значну мінливість рівня стійкості залежно від року. Натомість сорти картоплі характеризуються найнижчою стійкістю, найбільшою мінливістю цього показника та переважанням форм із середнім рівнем резистентності, що є наслідком селекційної стабілізації ознаки. Аналіз резистентності окремих сортів картоплі виявив значні відмінності між ними, зокрема, від стабільної стійкості в сорту Партнер до високої сприйнятливості проти іржавої плямистості в сорту Серпанок, що свідчить про вплив як генетичних особливостей сорту так і абіотичних факторів на прояв фізіологічного дефекту. Регресійний аналіз (2015–2024 рр.) виявив, що температура повітря у серпні, опади у червні та серпні є ключовими факторами, що впливають на розвиток іржавої плямистості бульб. **Висновок.** Результати дослідження підкреслюють важливість комплексного підходу до методів селекції при створенні резистентних проти іржавої плямистості сортів картоплі, враховуючи як генетичні особливості, так і вплив абіотичних факторів, таких як температура повітря та опади. Перспективні гібриди та сорти картоплі, виділені в ході дослідження, є цінним селекційним матеріалом для створення сортів, стійких до внутрішніх фізіологічних дефектів бульб.

Ключові слова: картопля, міжсортні гібриди, міжвидові гібриди, сорти, іржава плямистість бульб, стійкість, абіотичні фактори.

Pysarenko N.V., Furdyha M.M., Zakharchuk N.A., Hordiienko V.V. Screening of potato hybrids and varieties for resistance to rust spot in tubers under the conditions of Central Polissia of Ukraine

The article presents the results of a long-term research (2018–2024) on the resistance of potato breeding material to rust spot, conducted under challenge conditions in the breeding laboratory of the Polissia Research Department, Institute for Potato Research. The research aimed to establish the effectiveness of different hybridization methods for

creating potato breeding material resistant to rust spot and to investigate the influence of weather conditions on the development of this physiological defect, in order to identify promising genotypes for further breeding. To achieve this aim, intervarietal hybrids developed through our own breeding, interspecific hybrids from the genetic resources laboratory of the Institute for Potato Research, and varieties from different maturity groups of Ukrainian breeding were utilized. **Methods:** field method – visual assessment of the spread and degree of disease development on potato tubers grown under challenge conditions; statistical method – analysis of the influence of weather factors on the spread and development of rust spot in potato tubers using correlation and regression analysis. The research was conducted through a comparative analysis of the resistance of intervarietal and interspecific hybrids and potato varieties to rust spot in tubers by specific year of studies, identification of promising hybrids and varieties based on the results of multi-year evaluation (average for three years), and analysis of the influence of weather factors on disease development. **Research results.** It was established that intervarietal hybridization is the most effective method for creating material resistant to rust spot. Intervarietal hybrids are characterized by the highest level of resistance and the least variability of this indicator. Interspecific hybrids demonstrate significant variability in resistance level depending on the year. In contrast, potato varieties are characterized by the lowest resistance, the greatest variability of this indicator, and the predominance of forms with a medium level of resistance, which is a consequence of the breeding stabilization of the trait. Analysis of the resistance of individual potato varieties revealed significant differences between them, in particular, from stable resistance in the Partner variety to high susceptibility to rust spot in the Serpanok variety, which indicates the influence of both genetic characteristics of the variety and abiotic factors on the manifestation of the physiological defect. Regression analysis (2015–2024) revealed that air temperature in August, precipitation in June and August are key factors influencing the development of rust spot in tubers. **Conclusion.** The research results emphasize the importance of an integrated approach to breeding methods when creating potato varieties resistant to rust spot, taking into account both genetic characteristics and the influence of abiotic factors such as air temperature and precipitation. Promising potato hybrids and varieties identified during the research are valuable breeding material for creating varieties resistant to internal physiological tuber defects.

Key words: potato, intervarietal hybrids, interspecific hybrids, varieties, rust spot in tubers, resistance, abiotic factors.