

© Н. В. Писаренко, М. М. Фурдига, Н. А. Захарчук, Т. М. Олійник, 2024
УДК 635.21:631.527

DOI: 10.32636/agroscience.2024- (3)-3-2

ОЦІНКА СТІЙКОСТІ СОРТІВ КАРТОПЛІ ДО СТРЕСУ НА РАННІХ ЕТАПАХ НАКОПИЧЕННЯ ВРОЖАЮ В УМОВАХ СЕЗОННИХ ПОСУХ ПОЛІССЯ УКРАЇНИ

Наталія ПИСАРЕНКО¹, Микола ФУРДИГА², кандидати сільськогосподарських наук,
Наталія ЗАХАРЧУК², кандидат біологічних наук, Тетяна ОЛІЙНИК², кандидат сільськогосподарських наук
¹Поліське дослідне відділення Інституту картоплярства НААН,
вул. Центральна 6, с. Федорівка, Коростенський р-н, Житомирська обл., 11699, Україна
²Інститут картоплярства НААН
вул. Ярослава Мудрого, 22, смт Немішаєве, Бучанський р-н, Київської обл., 07853, Україна
e-mail: pisarenkonatalia1978@gmail.com

В рамках наукового дослідження проведено аналіз 23 сортів картоплі на стійкість до посухи в умовах центральної частини Полісся України за зміною відносного вмісту води в листі в фазах бутонізації і цвітіння культури. Враховували врожайність бульб при ранніх обліках. Динаміку змін спостерігали впродовж ранніх етапів експерименту в польових умовах. За чотири роки досліджень зафіксовано три з сезонними посухами, які характеризувались від дуже посушливого до слабо посушливого періоду, що було критичним для формування та накопичення врожаю. У різні роки досліджень виявлено сорти картоплі, що вирізняються високим показником коефіцієнта посухостійкості на 60-й та 75-й дні від садіння, зокрема: Радомисль, Серпанок, Вигода, Авангард, Нагорода, Фанатка, Опілля, Базалія, Чарунка, Джавеліна, Летана, Олександрит і Роставиця. Під час проведення кореляційного аналізу між першим та другим вимірюванням коефіцієнта посухостійкості в генотипах картоплі встановлено позитивну, але слабку та середню кореляційну залежність ($r=0,041-0,418$). Використання рангової системи для ідентифікації індексів стійкості до посухи дозволило виділити генотипи картоплі з найкращим середнім значенням. У сезоні 2020–2021 рр. сорти: Альянс, Межирічка 11 і Левада; у 2022–2023 рр. – Радомисль, Світана, Авангард, Опілля, Фанатка, Взірець і Летана. За результатами біплот-аналізу встановлено, що сорти картоплі Радомисль, Нагорода, Базалія, Тирас, Межирічка 11 і Летана у період 2021–2022 рр. та Радомисль, Авангард, Опілля, Світана та Фанатка в наступному сезоні, характеризувались вищою врожайністю за умов посухи. Метод факторного аналізу виявив генотипи, які показали значне підвищення врожайності бульб лише за умов оптимального забезпечення вологою. У першому сезоні підвищення врожайності зазначено у сортів Тирас, Левада, Нагорода, Межирічка 11 і Летана, в другому – Вигода, Межирічка 11, Альянс, Іванківська рання, Сонцедар і Роставиця. В результаті лабораторно-польових та статистичних досліджень щодо прояву стійкості сортів картоплі до сезонних посух у період раннього формування та накопичення врожаю бульб в центральній частині Полісся України встановлено, що певні генотипи картоплі володіють високою фактичною посухостійкістю. Результати досліджень дозволили ідентифікувати екологічно стійкі джерела стресу. Актуальність роботи полягає у виділенні сортів картоплі з високою позитивною реакцією на негативні агрокліматичні чинники даного регіону за раннього динамічного накопичення врожаю та властивості швидко відновлювати водний баланс у рослин в умовах посухи.

Ключові слова: *Solanum tuberosum*, сорт, стрес, коефіцієнт посухостійкості, біплот-аналіз, індекси стійкості до посухи, динаміка накопичення врожаю, кореляційна залежність.

Вступ

Впродовж останніх 60 років клімат України пережив значні зміни, які визначаються прискореним процесом зростання температури. Проаналізовані дані свідчать, що темпи зростання, в межах 0,4–0,6 °C за десятиліття, перевищують середні значення в Європі і в кілька разів перевищують глобальні температурні показники (IPCC, 2023).

Зміна температурного режиму призвела до зміни водного балансу в регіонах. Не дивлячись на те, що загальна річна кількість опадів є стабільною, відзначається суттєва зміна їхнього розподілу впродовж року. Значна кількість опадів припадає на осінні місяці, в той час як літні місяці характеризуються меншою кількістю опадів (Довідник «Зміна клімату та адаптація виробників

сої України», 2022), що призводить до нерівномірного забезпечення водного балансу впродовж року. Зі збільшенням температури повітря посилюється інтенсифікація процесів випаровування, що поряд з нерівномірним розподілом опадів в часі викликає зниження запасів вологи в ґрунті та призводить до збільшення частоти та інтенсивності посухи за останнє десятиліття. Таким чином, зазначені зміни в кліматичних умовах України створюють серйозні виклики для сільського господарства, зокрема для галузі картоплярства.

Картопля є важливою та економічно ефективною бульбовою культурою, популярною серед споживачів усього світу. За даними "Продовольчої та сільськогосподарської організації ООН" у 2021 році картоплю вирощували на понад

20 мільйонах гектарів у 150 країнах, її виробництво становило 376 мільйонів тонн. Прогнозується подальше зростання виробництва до 500 мільйонів тонн у 2025 році та 750 мільйонів тонн у 2030 році (FAO, 2022; Shahbandeh M., 2023).

На основі аналітичних досліджень Hijmans R. L. (2003) прогнозує зниження світового виробництва картоплі на 18–32 % впродовж періоду від 2040 до 2069 років, внаслідок впливу біотичного та абіотичного стресу, що виникає внаслідок змін клімату.

Картопля (*Solanum tuberosum* L.) це культура помірного клімату та вимагає прохолодного вегетаційного періоду з середньодобовою температурою 15–18 °C. Температури вище 21°C негативно впливають на ріст рослин. Оптимальний врожай бульб формується для більшості сортів картоплі при середній денній температурі між 14 та 22 °C (Van Dam et al., 1996; Ávila-Valdés A. et al., 2020).

Сприйнятливості насаджень картоплі до високих температур визначається генотипом, стадією розвитку рослин і тривалістю стресу (Boguszewska-Mankowska D. et al., 2018; Tang R. et al., 2018). Фенологічні фази формування бульб та накопичення їх маси є найбільш критичними у контексті високих температур (Levy D. & Veilleux R. E., 2007; Gouveia C. S. et al., 2019; Aliche E. B. et al., 2019).

Картопля є відносно водоекономною культурою, яка продукує більше калорій на одиницю використаної води порівняно з іншими сільськогосподарськими культурами (Sun S. et al., 2015). Проте, висока потреба у воді робить картоплю особливо чутливою до стресу викликаного посухою впродовж усього вегетаційного періоду (Schafleitner R. et al., 2009). Сприйнятливості головним чином обумовлена поверхневим розташуванням кореневої системи картоплі, що призводить до залежності росту та врожайності від регулярних атмосферних опадів (Lahlou O. & Ledent J. F., 2005; Chang D. C. et al., 2018).

У проведених Luitel et al. (2015) дослідженнях виявлено, що в умовах посухи середня кількість бульб у сортів зменшується на 55 %, а урожай товарної бульби на 70–87 %. Збереження вологості ґрунту є одним із факторів досягнення максимальної продуктивності картоплі (Ferreira T. C. & Goncalves D. A., 2007).

Сучасні сорти картоплі інтенсивного типу забезпечують високу врожайність бульб, проте, за відсутності зрошення, виявляють велику чутливість до посухи (Furdyha M. M., 2022, Pysarenko N. V. et al., 2022). Посуха є комплексним стресом, що впливає на фізіологічні, морфологічні, екологічні, біохімічні та молекулярні характеристики рослин (Obidiegwu J. E. et al., 2015; Salehi-Lisar S. Y. & Bakhshayeshan-Agdam H., 2016).

В польових умовах, де фактори навколишнього середовища зазнають змін від сезону до сезону, генотип картоплі, що проявив високу врожайність у один сезон, може бути неефективним у інший сезон. Відсутність цілеспрямованого аналізу сортів щодо стійкості до посухи додатково загострює цю проблему (Chen D. et al., 2014; Luitel B. P. et al., 2015). У зв'язку зі зміною клімату, актуальним є вивчення існуючих та створення нових сортів картоплі, що витримують абіотичний стрес та зберігають високу продуктивність (Lobell D. B. et al., 2011). Ідентифікація та створення стійких до стресу сортів картоплі стає невідкладним завданням для практичної селекції.

Для ефективної ідентифікації впливу посухи на рослини використовують морфологічні показники такі як маса листків, площа асиміляції листків та відносний вміст води в листках (Boguszewska-Mankowska D. et al., 2022). Важливим показником посухостійкості є водоутримувальна здатність тканин листків рослин та здатність швидко відновлювати водний баланс після посушливого періоду. Даний показник вказує на здатність рослин до швидкого відновлення всіх фізіологічних, біохімічних і молекулярних властивостей організму та формувати вищий врожай порівняно з вирощуванням сприйнятливих сортів. Врахування параметрів водоутримувальної та водовідновлювальної здатності слід враховувати за детального вивчення адаптації рослин до стресових умов (Rositska N. V., 2015; Oliynyk T. N. et al., 2017).

Щодо факторів впливу на врожайність картоплі дослідники використовують різні індекси для визначення стресостійкості. Індекси, які демонструють високу кореляцію з урожайністю як у стресових так і у сприятливих умовах є науково обґрунтованими. Дані індекси можуть слугувати інструментом для оцінки стабільності врожайності та адаптивної спроможності рослин (Martinez I. et al., 2021; Vesali M. R. et al., 2021; Pysarenko N. V. et al., 2023).

У наших дослідженнях використано різні методи оцінки стійкості сортів картоплі до посухи у вегетаційних фазах бутонізації, цвітіння та накопичення врожаю бульб.

Метою даного дослідження є оцінка та аналіз мінливості посухостійкості сортів картоплі, які належать до різних груп стиглості в умовах сезонних змін водопостачання; виділення генотипів картоплі, що вирізняються високим рівнем адаптивності до стресових умов.

Матеріали і методи

Дослідження проведено впродовж двох періодів 2020–2021 та 2022–2023 років у лабораторних і польових умовах лабораторії селекції картоплі Поліського дослідного відділення Інституту картоплярства НААН України,

розташованого в центральній частині Полісся України.

Ґрунти дослідного поля дерново-слабопідзолисті, глинисто-піщані, сформовані за рахунок піску чи глинистого піску з низькою природною родючістю (вміст гумусу 0,77 %, рН – 4,7; рухомих форм в мг/кг ґрунту: N (NH₄) – 9,9, N (NO₃) – 0,7–1,1, P₂O₅ – 62,3, K₂O – 28,8). Легкий механічний склад (вміст піску 93–96 %, глини – 5–6,4 %), ненасиченість вбирного комплексу основами, малий запас гумусу і безструктурна маса піску зумовлюють погані фізичні властивості даних ґрунтів.

Предметом досліджень використано сорти картоплі різних груп стиглості: ранньостиглі – Вірець, Тирас, Бажана, Радомисль, Світана, Серпанок; середньоранні – Партнер, Межирічка 11, Вигода, Опілля, Нагорода, Левада, Авангард, Фанатка і Сонцедар; середньостиглі – Явір, Базалія, Чарунка, Альянс, Іванківська рання, Володарка і Джавеліна; середньопізні – Олександрит, Роставиця, Лстана і Червона рута.

Визначення гідротермічного коефіцієнту (ГТК) визначали за формулою (Primak I. D. & Polevyi A. M., 2008):

$$ГТК = \frac{R}{0,1 \times \sum T} \quad [1]$$

де R – кількість опадів за період з температурою вище 10 °C; $\sum T > 10$ °C – сума активних температур вище 10 °C.

Шкала ГТК: ГТК < 0,4 – дуже сильна посуха, ГТК від 0,4 до 0,5 – сильна посуха, ГТК від 0,6 до 0,7 – середня посуха, ГТК від 0,8 до 0,9 – слабка посуха, ГТК від 1,0 до 1,5 – достатньо волого, ГТК > 1,5 – надмірно волого.

Визначення коефіцієнту посухостійкості листків здійснювали за методом Григорюка І.П. та ін. (2002). Відбирали середні зразки листків (10 шт.) із середнього ярусу рослин картоплі у триразовому повторенні. В лабораторії зразки розміщували на стелажах у провітрюваному приміщенні і залишали в умовах кімнатної температури на 24 години. Після підсушування листки повторно зважували і

занурювали в ємності з водою на 24 години. Після насичення водою їх знову зважували і за формулами 2, 3, 4 розраховували відповідні коефіцієнти:

$$\text{водоутримання } K_{\text{ву}} = \frac{\text{Маса листків після підсихання}}{\text{Маса свіжих листків}} \times 100\%; [2]$$

$$\text{водовідновлення } K_{\text{вв}} = \frac{\text{Маса листків після насичення водою}}{\text{Маса свіжих листків}} \times 100\%; [3]$$

$$\text{посухостійкість } K_{\text{пс}} = \frac{K_{\text{ву}} \times K_{\text{вв}}}{100\%} \quad [4]$$

Визначення фізіологічного показника посухостійкості проведено на 60-й і 75-й день від садіння картоплі (фази бутонізації і цвітіння).

Для визначення приросту врожаю бульб у сортів картоплі застосовували динамічне підкопування 10 кущів на 65-й та 80-й день від садіння рослин (фаза накопичення врожаю бульб). Облік урожаю проводили ваговим методом (Bondarchuk A. A. et al., 2019).

Перелік використаних індексів стійкості до посухи та формули їх розрахунку 5, 6, 7, 8, 9, 10 (Bouslama M. & Schapaugh W. T., 1984; Fernandez G., 1992; Lan J., 1998; El-Hendawy S. E. et al., 2016; Nikneshan P. et al., 2019) наведено нижче:

середня врожайність

$$MP = (Y_p + Y_s) / 2 \quad [5]$$

індекс стабільності врожаю

$$YSI = \frac{Y_s}{Y_p} \quad [6]$$

індекс сприйнятливості до посухи

$$SSI = (1 - Y_s / Y_p) / (1 - \hat{Y}_s / \hat{Y}_p) \quad [7]$$

індекс толерантності до стресу

$$STI = (Y_p \times Y_s) / (\hat{Y}_p)^2 \quad [8]$$

індекс толерантності до посухи

$$TOL = Y_p - Y_s \quad [9]$$

індекс посухостійкості

$$DI = [Y_s \times (Y_s / Y_p)] / \hat{Y}_s \quad [10]$$

Аналіз кореляції між індексами стресу здійснено за допомогою Microsoft® Excel 2007.

0,96, що вказує на невелику посуху. Зміни в значеннях ГТК виявлені й у другому періоді вивчення: у 2022 році вони досягали 1,1 (оптимальне вологозабезпечення), тоді як у 2023 році спостерігалася значна посуха (ГТК = 0,5).

За періоди досліджень, аналіз гідротермічного коефіцієнту впродовж декад вегетаційного періоду картоплі, дозволяє визначити тривалу відсутність або нестачу опадів, особливо в умовах підвищених температур повітря. Дослідженнями виявлено зменшення гідротермічного коефіцієнту в критичні фази формування та накопичення врожаю картоплі.

Результати та обговорення

Гідротермічний коефіцієнт середовища.

Кліматичні умови за час проведення досліджень різнились як за температурним режимом, так і за об'ємом та характером опадів. Це дало можливість ефективно оцінити сорти картоплі різних груп стиглості на стійкість до посушливих умов.

Під час першого аналізу стійкості сортів картоплі до посухи було встановлено, що гідротермічні коефіцієнти (ГТК) для вегетаційного періоду в 2020 році становили 1,4, це свідчить про достатнє вологозабезпечення. У 2021 році ГТК =

Так за період 2020–2021 років початок фенологічної фази інтенсивного формування бульб в генотипів картоплі для скоростиглих форм припав на I декаду липня, середньостиглих зразків – II декаду липня (середнє за дві декади липня становить в 2020 ГТК = 0,23, в 2021 р. ГТК = 0,8). Накопичення

маси врожаю бульб картоплі відмічено з середини липня до III декади серпня. Гідротермічний коефіцієнт в даний період в 2020 році становив 0,14 (дуже сильна посуха), а в 2021 р. – 0,85 (слабка посуха) (рис. 1).

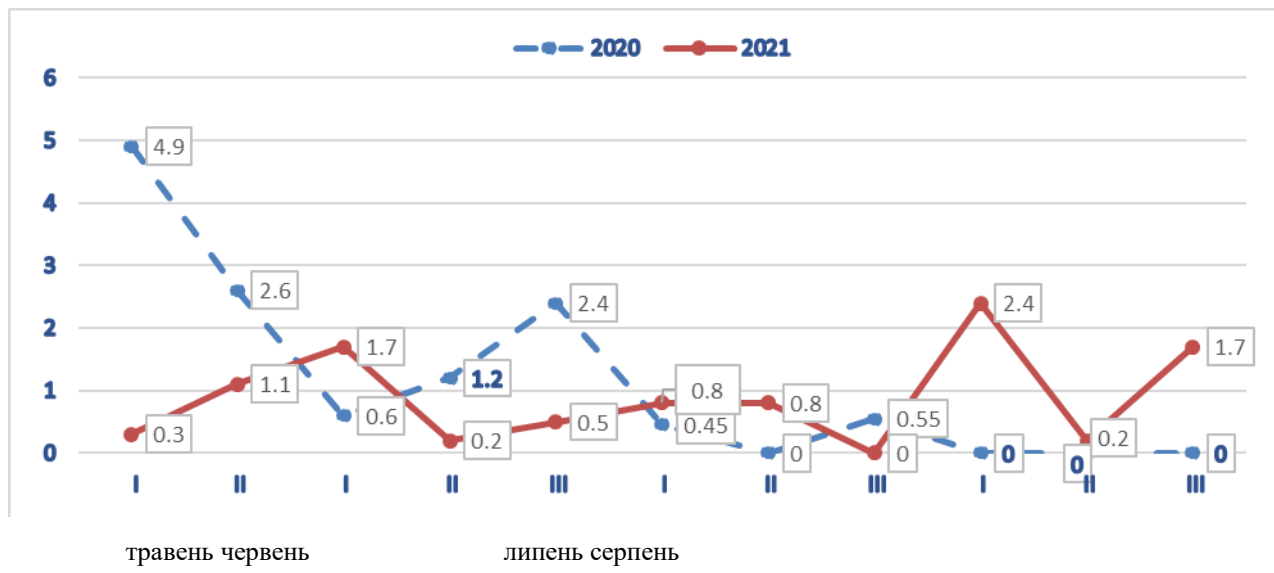
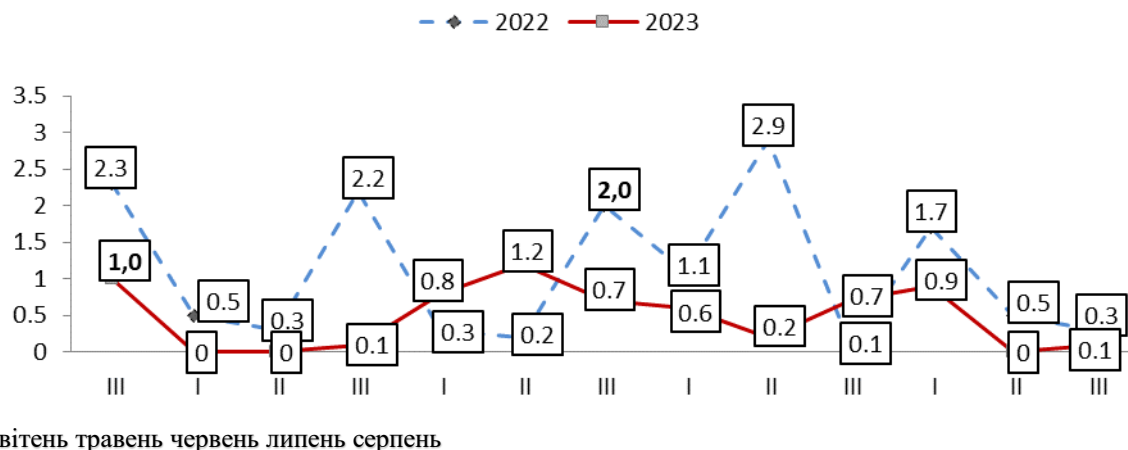


Рисунок 1. Гідротермічний коефіцієнт за декадами вегетаційного періоду картоплі 2020–2021 рр.

У 2022–2023 рр. зафіксовано відхилення ГТК за декадами місяців між фенологічними фазами початку формування та інтенсивного накопичення врожаю. Це пов'язано з різним часом садіння культури. Наприклад, у 2022 році гідротермічний коефіцієнт на період формоутворення бульб картоплі (III декади червня – I декади липня) становив в середньому 1,6 (надмірно волого), а при інтенсивному накопиченні маси бульб ГТК = 1,26

(достатньо волого). У 2023 р. фаза формування молодих бульб припала на I та II декаду липня і середнє значення гідротермічного коефіцієнту за декадами склало 0,4 (сильна посуха). Важливо відзначити, що середнє числове значення гідротермічного коефіцієнту залишалося на тому ж рівні впродовж всього періоду накопичення продуктивності у сортів картоплі (рис. 2).



квітень травень червень липень серпень

Рисунок 2. Гідротермічний коефіцієнт за декадами вегетаційного періоду картоплі 2022–2023 рр.

Коефіцієнт посухостійкості та його кореляція за обліками.

Впродовж проведених досліджень виявлено тенденцію до зменшення коефіцієнту посухостійкості (Кпс) у сортів картоплі між першим

і другим обліком за роками. Наприклад, в 2020 році варіювання Кпс становило від 2 до 33 % (позитивне зростання коефіцієнту на 75-й день спостерігали в сорту Партнер (на 5 %)). У 2021 р. цей показник коливався від 2 до 44 %, в 2022 році від 2 до 48 %



(збільшення значення Кпс відзначено у сортів Володарка, Радомисль на 2 % та Чарунка на 1 %). Важливо відмітити, що у 2023 році спостерігали збільшення значення коефіцієнту посухостійкості в більшості сортів картоплі при другому обліку на 4–29 % (за винятком сортів Світана, Нагорода, Опілля, Межирічка 11 і Летана).

За проведення кореляційного аналізу між першим та другим обліком посухостійкості у генотипах картоплі виявлено, що впродовж всього періоду досліджень спостерігається позитивна слабка та середня кореляційна залежність. В 2020 році коефіцієнт кореляції (r) дорівнював 0,041, в 2021 році – 0,122, 2022 році – 0,135, 2023 році він значно зріс і становив 0,418.

За детального вивчення стійкості сортів картоплі різних груп стиглості до посухи в сезон 2020–2021 років за коефіцієнтом посухостійкості виявлено, що відбір зразків на 60-й та 75-й день від садіння проводився при різних значеннях ГТК

(рис. 1). У 2020 році на перший і другий облік ГТК становив відповідно 0,45 і 0,53, а в 2021 р. на перший облік коефіцієнт склав 0,8, на другий – 0. Таким чином, у даному періоді досліджень розвиток рослин картоплі відбувався при дефіциті вологи, що сприяло виділенню посухостійких генотипів картоплі.

На рисунку 3 представлено відсоткові значення коефіцієнта посухостійкості (Кпс) для сортів картоплі впродовж двох обліків у сезоні 2020–2021 рр. Більшість сортів, крім сорту Партнер, проявили значення Кпс > 60 % на 60-й день в умовах середньої посухи в 2020 р. При другому відборі генотипів на 75-й день прослідковується тенденція до зменшення кількості сортів (на 56 %) з високим вираженням посухостійкості. В 2021 році на перший облік умови середовища характеризувалися слабкою посухою, значення Кпс > 60 % встановлено в усіх сортів картоплі.

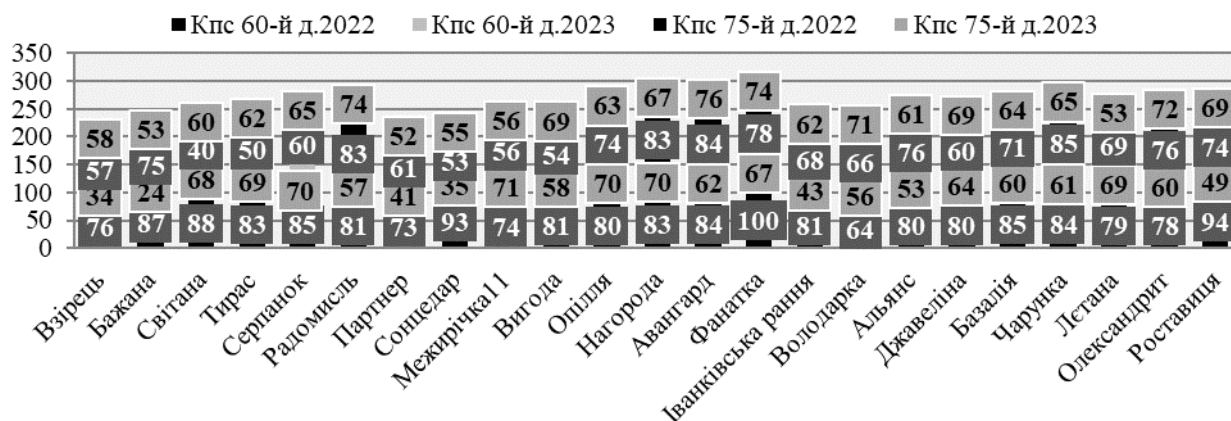


Рисунок 3. Розподіл сортів картоплі за коефіцієнтом посухостійкості при першому і другому обліку в сезон 2020–2021 рр., %

У порівнянні із попереднім роком в 63 % генотипів відзначено зростання коефіцієнта посухостійкості на 4–21 %. Другий облік провели в умовах відсутності опадів в III декаді липня 2021 року, що призвело до зниження (Кпс нижче 60 %) у 50 % сортів картоплі. Узагальнюючи результати посушливого літнього сезону 2020–2021 років, можна виділити сорти картоплі з високим рівнем посухостійкості при обох обліках: Радомисль, Серпанок, Вигода, Авангард, Нагорода, Джавеліна і Летана.

В умовах сезону 2022–2023 рр., проводили відбір зразків сортів картоплі на 60-й та 75-й день від садіння за надмірної вологи в 2022 р. та посухи в 2023р. На перший і другий облік у 2022 році гідротермічний коефіцієнт становив відповідно 2,0 і 2,9, в той час як у 2023 році на 60-й день ГТК = 0,2, а на 75-й день – ГТК = 0,7. Рисунок 4 візуалізує значення показників посухостійкості сортів картоплі при обох обліках в умовах достатнього

зволоження та сильної посухи в сезоні 2022–2023 рр. Коливання коефіцієнту посухостійкості в генотипах на 60-й день від садіння в 2022 році становило 73–100%, в 2023 році – 24–71%. Спостерігали зниження на 3–63% значення Кпс у сортів картоплі за дуже сильної посухи в 2023 р.

Підвищення гідротермічного коефіцієнту на 0,5 в 2023 році при другому відборі зразків картоплі призвело до підвищення частки коефіцієнту посухостійкості у окремих генотипів картоплі. Навіть за умов посухи під час другого обліку, у генотипів картоплі Взірець, Тирас, Серпанок, Світана, Сонцедар, Вигода, Володарка та Джавеліна спостерігали підвищення Кпс на 1–20% порівняно із умовами надмірного зволоження. За загальною оцінкою коефіцієнту посухостійкості в сезоні 2022–2023 років виділено сорти картоплі з високим вираженням ознаки: Радомисль, Серпанок, Опілля, Нагорода, Авангард, Фанатка, Джавеліна, Базалія, Чарунка, Олександрит і Росташиця.

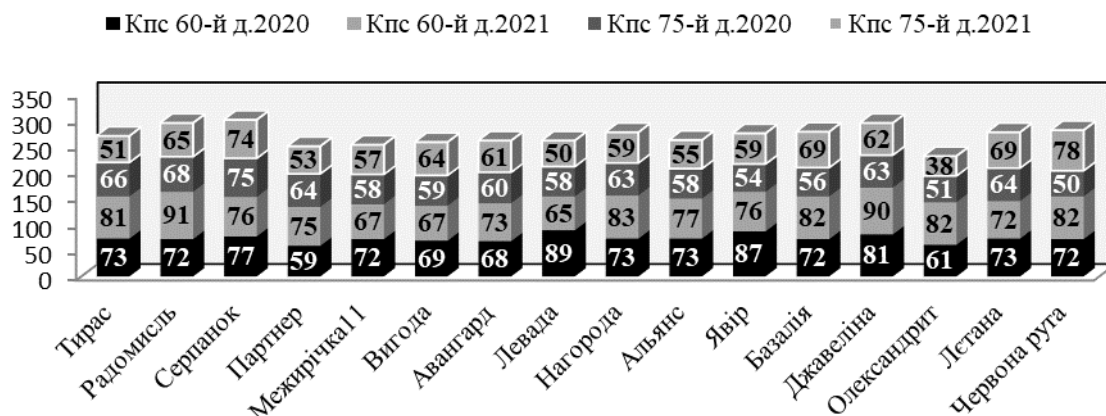


Рисунок 4. Розподіл за часткою коефіцієнту посухостійкості сортів картоплі при першому і другому обліку в сезон 2022–2023 рр., %

Індекси стресу за урожаєм бульб картоплі при динамічних підкопуваннях.

Результати досліджень під час динамічних підкопувань виявили значні розбіжності між сортами картоплі за індексами посухостійкості порівняно з медіальним показником для всіх груп стиглості.

Вищі значення за медіану індексу середньої врожайності (MP) виявлено у сортів картоплі під час обох динамічних підкопувань. У сезоні 2020–2021 рр. ($M_e = 3,3; 6,3$) виділили сорти: Тирас (4,9; 9,1), Радомисль (5,3; 8,3), Нагорода (3,8; 8,0), Левада (5,2; 6,7), Межирічка 11 (5,2; 7,1), Альянс (6,0; 9,8) і Летана (3,8; 6,5). У період 2022–2023 рр. ($M_e = 4,7; 8,6$) виділили генотипи: Взірець (6,5; 9,1), Радомисль (8,2; 10,8), Світана (11,4; 14,5), Авангард (6,9; 10,2), Сонцедар (6,9; 11,2), Опілля (7,4; 9,6), Альянс (5,3; 14,2) і Роставиця (6,4; 10,6) (табл. 1, 2).

Сорти картоплі з високими показниками індексу стабільності урожайності (YSI) при ранній динаміці накопичення врожаю бульб можуть вважатися стійкими генотипами в умовах стресу, тому особливий інтерес представляють сорти картоплі, що відповідають цим критеріям. У періоди проведених досліджень, за обома обліками врожаю, виділено сорти картоплі, які відзначалися вищими або на рівні показниками YSI: в сезон 2020–2021 рр. (при $M_e = 0,57; 0,87$) – Вигода (0,63; 0,94), Левада (0,61; 0,86), Альянс (0,78; 0,88); в роки 2022–2023 ($M_e = 0,66; 0,70$) – Радомисль (0,87; 0,95), Нагорода (0,79; 0,72), Партнер (0,67; 0,70), Фанатка (0,88; 0,79), Авангард (0,84; 0,92), Опілля (0,77; 0,92), Летана (1,12; 1,02).

Показник індексу чутливості до посухи (SSI) визначає ступінь чутливості сортів картоплі. Чим менше значення індексу, тим вище є посухостійкість генотипу. Аналіз отриманих даних вказує на значну виражену чутливість у сортів картоплі до посухи при ранніх динамічних підкопуваннях. У сезоні 2020–2021 рр. на 65-й день від садіння за низькими значеннями показника SSI вирізнялись сорти:

Нагорода (–0,65), Базалія (–0,32), Радомисль (–0,16), Серпанок (0,38), Партнер (0,24), Альянс (0,60). Проте, на 80-й день від садіння високий показник SSI спостерігали у сортів: Летана (–0,59), Червона рута (–0,46), Джавеліна (–0,36), Явір (–0,36), Тирас і Вигода (0,27), Межирічка 11 (0,41), Альянс (0,55). Варіювання показника серед генотипів картоплі було значним в межах від –0,65 до 2,24 при першому обліку і від –0,59 до 2,86 при другому. Результати досліджень у сезоні 2022–2023 рр. виявили суттєві відмінності у чутливості до посухи в сортів картоплі за індексом SSI. Під час першого обліку коливання індексу становило від –0,29 до 1,93. Серед сортів з найнижчими значеннями виділили: Радомисль (0,31), Тирас (0,38), Фанатка (0,29), Авангард (0,38), Нагорода (0,50), Опілля (0,55), Базалія (0,26), Джавеліна (0,47) і Летана (–0,29). У другому обліку показники min і max в індексі SSI змінювалися від –0,06 до 2,15. Серед сортів з низьким значенням індексу чутливості до посухи були: Радомисль (0,15), Світана (0,46), Взірець (0,61), Авангард і Опілля (0,24), Фанатка (0,64), Чарунка (0,15), Іванківська рання (0,58) і Летана (–0,06).

Індекс толерантності до посухи (TOL) вказує на втрати урожайності сортів картоплі під впливом посушливих умов. Низьке значення показника в генотипах свідчить про їх високу посухостійкість. Високу толерантність до посухи в різні роки досліджень продемонстрували сорти, зокрема впродовж 2020–2021 років на 65-й день від садіння: Радомисль (–0,3), Нагорода (–0,8), Базалія (–0,4), Серпанок і Партнер (0,3). Коливання індексу TOL у сортів картоплі становило від –0,8 до 4,5. На 80-й день від садіння: Тирас (0,6), Вигода (0,2), Межирічка 11 (0,7), Джавеліна і Червона рута (–0,3), Явір (–0,5) та Летана (–0,8). Діапазон прояву TOL у генотипах становив від –0,8 до 5,5. Впродовж періоду 2022–2023 років спостерігали розширення діапазону індексу толерантності до посухи в порівнянні з минулорічним сезоном на –0,5 і 1,2 при першому обліку та на –0,7 і 6,7 при другому.

Найнижчі значення TOL у сортів картоплі виявили на 65-й день від садіння: Тирас (0,8), Нагорода (0,4), Фанатка (0,7), Джавеліна і Базалія

(0,5), Летана (–0,3); на 80-й день від садіння: Радомисль (0,6), Серпанок (1,1), Авангард і Опілля (0,8), Чарунка (0,4), Летана (–0,1).

Таблиця 1. Оцінка стійкості сортів картоплі до стресу в різні періоди розвитку на основі індексів посухостійкості, 2020–2021 рр.

No	Назва сорту	на 65-й день від садіння						на 80-й день від садіння					
		MP	YSI	SSI	STI	TOL	DI	MP	YSI	SSI	STI	TOL	DI
G1	Серпанок	2,0	0,86	0,38	0,20	0,3	0,57	5,8	0,78	1,0	0,70	1,4	0,74
G2	Тирас	4,9	0,45	1,49	1,09	3,7	0,50	9,1	0,94	0,27	1,74	0,6	1,53
G3	Радомисль	5,3	1,06	–0,16	1,49	–0,3	2,12	8,3	0,77	1,05	1,42	2,2	1,02
G4	Вигода	2,2	0,63	1,0	0,25	1,0	0,40	3,1	0,94	0,27	0,20	0,2	0,52
G5	Партнер	3,1	0,91	0,24	0,50	0,3	0,97	4,2	0,48	2,36	0,32	2,9	0,24
G6	Авангард	3,1	0,42	1,57	0,42	2,5	0,28	6,2	0,38	2,82	0,64	5,5	0,24
G7	Нагорода	3,8	1,24	–0,65	0,77	–0,8	1,92	8,0	0,73	1,23	1,29	2,5	0,90
G8	Левада	5,2	0,61	1,05	1,35	2,5	0,88	6,7	0,86	0,64	0,94	1,0	0,99
G9	Межирічка 11	5,2	0,53	1,27	1,32	3,2	0,71	7,1	0,91	0,41	1,04	0,7	1,12
G10	Джавеліна	1,9	0,41	1,60	0,16	1,6	0,17	4,0	1,08	–0,36	0,33	–0,3	0,82
G11	Явір	3,0	0,40	1,62	0,39	2,5	0,25	6,7	1,08	–0,36	0,93	–0,5	1,38
G12	Базалія	3,6	1,12	–0,32	0,70	–0,4	1,57	5,9	0,37	2,86	0,58	5,4	0,22
G13	Альянс	6,0	0,78	0,60	1,88	1,5	1,49	9,8	0,88	0,55	2,01	1,2	1,51
G14	Червона руга	1,8	0,17	2,24	0,08	2,5	0,03	3,1	1,10	–0,46	0,19	–0,3	0,65
G15	Олександрит	2,1	0,17	2,24	0,22	1,0	0,10	3,7	0,57	1,96	0,27	2,0	0,29
G16	Летана	3,8	0,25	2,03	0,49	4,5	0,14	6,5	1,13	–0,59	0,88	–0,8	1,45
Me		3,3	0,57	1,16	0,49	1,6	0,53	6,3	0,87	0,60	0,79	1,1	0,86
V, %		39	54	90	78	97	90	34	31	133	66	128	55
HRP ₀₅		1,9	0,11	0,83	0,31	2,41	0,46	4,3	0,06	1,29	0,31	3,61	0,22

Примітка: MP – середня урожайність, YSI – індекс стабільності урожаю, SSI – індекс сприйнятливості до посухи, STI – індекс толерантності до стресу, TOL – індекс толерантності до посухи, DI – індекс стійкості до посухи, Me – медіана, V – коефіцієнт варіації

Таблиця 2. Оцінка стійкості сортів картоплі до стресу в різні періоди розвитку на основі індексів посухостійкості, 2022–2023 рр.

No	Назва сорту	на 65-й день від садіння						на 80-й день від садіння					
		MP	YSI	SSI	STI	TOL	DI	MP	YSI	SSI	STI	TOL	DI
G1	Серпанок	2,2	0,19	1,93	0,07	2,9	0,04	3,6	0,73	0,82	0,12	1,1	0,32
G2	Бажана	2,7	0,66	0,81	0,18	1,1	0,38	7,0	0,59	1,24	0,43	3,6	0,45
G3	Тирас	4,7	0,84	0,38	0,57	0,8	1,01	9,2	0,63	1,12	0,76	4,2	0,65
G4	Взірець	6,5	0,59	0,98	1,03	3,4	0,78	9,1	0,80	0,61	0,77	2,0	0,94
G5	Радомисль	8,2	0,87	0,31	1,72	1,1	1,84	10,8	0,95	0,15	1,10	0,6	1,44
G6	Світана	11,4	0,56	1,05	3,12	6,4	1,28	14,5	0,85	0,46	1,96	2,3	1,64
G7	Нагорода	1,7	0,79	0,50	0,07	0,4	0,33	5,9	0,72	0,85	0,31	1,9	0,51
G8	Вигода	2,9	0,41	1,41	0,18	2,4	0,20	9,3	0,38	1,88	0,64	8,3	0,28
G9	Партнер	3,0	0,67	0,79	0,23	1,2	0,44	5,9	0,70	0,91	0,31	2,1	0,48
G10	Фанатка	5,3	0,88	0,29	0,71	0,7	1,19	10,9	0,79	0,64	1,09	2,5	1,10
G11	Межирічка 11	6,1	0,42	1,38	0,81	5,0	0,42	6,8	0,61	1,18	0,40	3,3	0,45
G12	Авангард	6,9	0,84	0,38	1,23	1,2	1,47	10,2	0,92	0,24	0,98	0,8	1,31
G13	Сонцедар	6,9	0,42	1,38	1,04	5,6	0,48	11,2	0,29	2,15	0,83	12,2	0,22
G14	Опілля	7,4	0,77	0,55	1,38	1,9	1,37	9,6	0,92	0,24	0,87	0,8	1,23
G15	Джавеліна	2,3	0,80	0,47	0,13	0,5	0,44	5,5	0,40	1,82	0,23	4,7	0,18
G16	Володарка	3,9	0,37	1,50	0,31	3,6	0,21	8,6	0,56	1,33	0,64	4,8	0,51
G17	Чарунка	4,0	0,33	1,60	0,31	4,0	0,19	7,8	0,95	0,15	0,57	0,4	1,05
G18	Базалія	4,2	0,89	0,26	0,45	0,5	0,96	7,5	0,67	1,0	0,50	2,9	0,59
G19	Альянс	5,3	0,66	0,81	0,7	2,2	0,77	14,2	0,49	1,55	1,67	9,8	0,66
G20	Іванківська рання	5,4	0,26	1,76	0,49	6,4	0,16	7,95	0,81	0,58	0,59	1,7	0,83
G21	Летана	2,7	1,12	–0,29	0,18	–0,3	0,87	4,7	1,02	–0,06	0,20	–0,1	0,70
G22	Олександрит	2,8	0,62	0,91	0,19	1,3	0,36	7,4	0,53	1,42	0,47	4,6	0,39
G23	Роставація	6,4	0,31	1,64	0,76	6,7	0,26	10,6	0,58	1,27	0,99	5,6	0,66
Me		4,7	0,66	0,81	0,49	1,9	0,44	8,6	0,70	0,91	0,64	2,5	0,65
V, %		48	39	65	101	85	74	32	29	64	63	89	56
HRP ₀₅		3,7	0,06	0,34	0,49	3,5	0,25	3,5	0,04	0,36	0,20	2,8	0,17

Впродовж років досліджень індекс стійкості до стресу (STI) у сортів картоплі мав незначне варіювання. Медіана за обома сезонами досліджень знаходилась в межах 0,49 при першому підкопуванні та 0,64–0,79 при другому. Важливо відзначити, що генотипи з високими значеннями STI вказують на толерантність до посухи. Сорти Тирас, Радомисль, Нагорода, Левада, Межирічка 11, Альянс і Летана проявили високий рівень стійкості до стресу за обох ранніх обліках у сезоні 2020–2021 рр.

У період досліджень 2022–2023 років високий рівень показника STI спостерігали у генотипів Взірець, Радомисль, Світана, Фанатка, Авангард, Сонцедар, Опілля, Альянс і Роставиця.

Індекс посухостійкості (DI) дозволяє визначити генотипи картоплі, які проявляють високу урожайність як в стресових так і в достатньо забезпеченому вологою середовищі. Під час проведення раннього динамічного підкопування в сезон 2020–2021 рр. діапазон варіювання індексу знаходився в межах 0,03–2,12 при першому обліку та 0,22–1,53 при другому.

Виділено сорти картоплі, які характеризувалися вищим вираженням індексу DI медіани динамічних підкопувань ($Me = 0,53; 0,86$): Радомисль (2,12; 1,02), Нагорода (1,92; 0,90), Левада (0,88; 0,99), Межирічка 11 (0,71; 1,12) і Альянс (1,49; 1,51).

Дослідженнями за період 2022–2023 рр. виявило тенденцію до зменшення числового значення медіани індексу DI при динамічних підкопуваннях порівняно з попереднім сезоном. Так

при першому обліку Me становить 0,44, а діапазон прояву DI в сортів картоплі складає 0,04–1,84. При другому обліку $Me = 0,65$, і значення індексу коливається в генотипах від 0,17 до 1,64.

Серед сортів, які проявили перевагу за обома обліками до медіани даного сезону, визначаються: Взірець (0,78; 0,94), Радомисль (1,84; 1,44), Світана (1,28; 1,64), Фанатка (1,19; 1,10), Авангард (1,47; 1,31), Опілля (1,37; 1,23), Альянс (0,77; 0,66) і Летана (0,87; 0,70).

Сорти впорядковані за рангами відповідно до індексів посухостійкості.

Кожному сорту призначався ранг на основі індивідуальних показників індексів стресу. Середній ранг для кожного генотипу картоплі визначали шляхом усереднення всіх значень селекційних індексів для даного сорту, оскільки вибір сорту за одним індексом є дискусійним.

Впродовж сезону 2020–2021 рр. під час першого динамічного обліку за всіма індексами посухостійкості виявлено, що сорти Радомисль, Нагорода, Базалія, Альянс, Партнер, Левада і Межирічка 11 мали середні значення рангів від 1 до 7, характеризуючи їх як найбільш посухостійкі генотипи в даному періоді.

Під впливом тривалого посушливого стресу при другому динамічному обліку виділили генотипи, які показали найкращі результати за середнім значенням рангів, зокрема Тирас, Летана, Явір, Альянс і Межирічка 11, Джавеліна і Левада (табл. 3). Сорти Альянс, Межирічка 11 і Левада були найбільш стійкими до посушливого стресу у цьому сезоні досліджень.

Таблиця 3. Ранги сортів за індексами посухостійкості при динаміках обліку урожайності, 2020–2021 рр.

N	Назва сорту	на 65-й день від садіння							на 80-й день від садіння						
		P^*_{MP}	P_{YSI}	P_{SSI}	P_{STI}	P_{TOL}	P_{DI}	P_{Total}^*	P_{MP}	P_{YSI}	P_{SSI}	P_{STI}	P_{TOL}	P_{DI}	P_{Total}^*
G ₁	Серпанок	14	5	5	14	4	8	8	11	10	10	9	10	10	12
G ₂	Тирас	5	10	10	5	15	9	9	2	5	5	2	6	1	1
G ₃	Радомисль	2	3	3	2	3	1	1	3	11	11	3	12	6	8
G ₄	Вигода	12	7	7	12	6	10	9	15	5	5	15	5	12	11
G ₅	Партнер	9	4	4	8	4	5	5	12	14	14	13	14	14	15
G ₆	Авангард	9	11	11	10	10	11	11	9	15	15	10	16	14	14
G ₇	Нагорода	6	1	1	6	1	2	2	4	12	12	4	13	8	10
G ₈	Левада	3	8	8	3	10	6	6	6	9	9	6	8	7	7
G ₉	Межирічка 11	3	9	9	4	14	7	7	5	7	7	5	7	5	5
G ₁₀	Джавеліна	15	12	12	15	9	13	14	13	3	3	12	3	9	6
G ₁₁	Явір	11	13	13	11	10	12	12	6	3	3	7	2	4	3
G ₁₂	Базалія	8	2	2	7	2	3	3	10	16	16	11	15	16	16
G ₁₃	Альянс	1	6	6	1	8	4	4	1	8	8	1	9	2	4
G ₁₄	Червона рута	16	15	15	16	10	16	16	15	2	2	16	3	11	9
G ₁₅	Олександрит	13	15	15	13	6	15	15	14	13	13	14	11	13	13
G ₁₆	Летана	6	14	14	9	16	14	13	8	1	1	8	1	3	2

Примітка: P^* – ранг індексів, P_{Total}^* – узагальнений ранг

У сезоні 2022–2023 рр. сорти картоплі розподілено за ранговою оцінкою стійкості до індексів стресу аналогічним чином. На 65-й день від садіння у десятку найкращих генотипів за середнім значенням рангів увійшли: Радомисль, Авангард, Фанатка, Опілля, Базалія, Тирас, Летана, Світана, Взірець і Альянс. Сорти Базалія, Тирас і Альянс проявили найбільшу чутливість до посушливого

стресу, який виник, відповідно, під час другого обліку.

Під час другого динамічного підкопування найкраще середнє значення рангів продемонстрували наступні десять сортів: Радомисль, Світана, Авангард, Опілля, Чарунка, Фанатка, Взірець, Іванківська рання, Летана і Росташиця (табл.4).

Таблиця 4. Ранги сортів за індексами посухостійкості при динаміках обліку урожайності, 2022–2023 рр.

N	Назва сорту	на 65-й день від садіння							на 80-й день від садіння						
		P _{MP}	P _{YSI}	P _{SSI}	P _{STI}	P _{TOL}	P _{DI}	P _{Total}	P _{MP}	P _{YSI}	P _{SSI}	P _{STI}	P _{TOL}	P _{DI}	P _{Total}
G ₁	Серпанок	22	23	23	23	15	22	23	23	10	10	23	6	20	16
G ₂	Бажана	19	11	11	20	8	19	16	17	16	16	17	15	18	19
G ₃	Тирас	12	5	5	11	6	12	6	10	14	14	10	16	12	11
G ₄	Взірець	6	14	14	6	16	6	9	11	8	8	9	9	7	7
G ₅	Радомисль	2	4	4	2	7	2	1	5	3	2	3	3	2	1
G ₆	Світана	1	15	15	1	22	1	8	1	6	6	1	11	1	2
G ₇	Нагорода	23	8	8	22	2	23	14	19	11	11	19	8	14	13
G ₈	Вигода	17	18	18	19	14	17	20	9	22	22	11	21	21	21
G ₉	Партнер	16	10	10	16	9	16	13	19	12	12	20	10	16	15
G ₁₀	Фанатка	11	3	3	9	5	11	3	4	9	9	4	12	5	6
G ₁₁	Межирічка 11	8	17	16	7	19	8	15	18	15	15	18	14	17	18
G ₁₂	Авангард	4	6	5	4	9	4	2	7	4	4	6	4	3	3
G ₁₃	Сонцедар	5	16	16	5	20	5	12	3	23	23	8	23	22	20
G ₁₄	Опілля	3	9	9	3	12	3	4	8	5	4	7	5	4	4
G ₁₅	Джавеліна	21	7	7	21	3	21	11	21	21	21	21	18	23	23
G ₁₆	Володарка	15	19	19	15	17	15	19	12	18	18	12	19	15	17
G ₁₇	Чарунка	14	20	20	14	18	14	21	14	2	2	14	2	6	5
G ₁₈	Базалія	13	2	2	13	4	13	5	15	13	13	15	13	13	13
G ₁₉	Альянс	10	11	11	10	13	10	9	2	20	20	2	22	11	12
G ₂₀	Іванківська рання	9	22	22	12	21	9	22	13	7	7	13	7	8	8
G ₂₁	Летана	20	1	1	18	1	20	7	22	1	1	22	1	9	9
G ₂₂	Олександрит	18	13	13	17	11	18	17	16	19	19	16	17	19	21
G ₂₃	Росташиця	7	21	21	8	23	7	18	6	17	17	5	20	10	10

Біоплот-аналіз взаємодії сортів картоплі і середовища.

Для графічного відображення взаємозв'язку між врожайністю сортів у умовах посухи та оптимального зволоження використовували методику аналізу головних компонент (PCA) – метод факторного аналізу в статистиці.

Після проведення GGE біоплот-аналізу взаємодії генотипів картоплі різних груп стиглості і середовища визначено сорти, що відзначаються стійкістю до посухи.

У сезоні 2020–2021 рр. визначено сорти, які розташовані в одній площині з вектором урожайності в умовах посухи (Y_s) при ранніх динамічних підкопуваннях. За першого динамічного обліку (рис. 5) це G₃ Радомисль, G₇ Нагорода і G₁₂ Базалія.

При другому динамічному обліку (рис. 6) виділились інші сорти, а саме G₂ Тирас, G₉ Межирічка 11 і G₁₆ Летана. Визначено, що

генотипи, які найкраще реагують на поліпшення умов забезпечення вологою, але знижують продуктивність в умовах посухи, включають G₂ Тирас, G₈ Левада, G₉ Межирічка 11 і G₁₆ Летана при першому обліку.

При наступному динамічному обліку G₇ Нагорода виявила аналогічні властивості, за розташування в одній чверті з вектором врожайності (Y_p). Сорти G₁₃ Альянс (при обох обліках) і G₃ Радомисль (при другому) демонструють пластичність, оскільки розташовані на осі між векторами врожайності Y_s і Y_p в даному проміжку часу.

У порівнянні з попередньо відзначеними сортами, генотипи картоплі G₁ Серпанок, G₄ Вигода, G₅ Партнер, G₆ Авангард, G₁₀ Джавеліна, G₁₄ Червона рута і G₁₅ Олександрит розташовані на протилежному кінці обох графіків PCA, що свідчить про їхню низьку продуктивність та чутливість до посушливих умов.

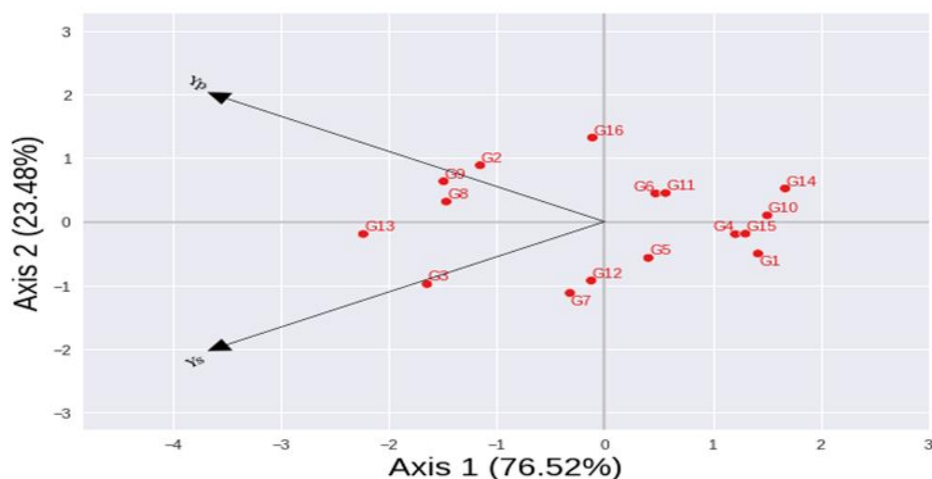


Рисунок 5. GGE біплот-аналіз взаємодії сортів картоплі і умов середовища на 65-й день від садіння в сезон 2020–2021 рр.

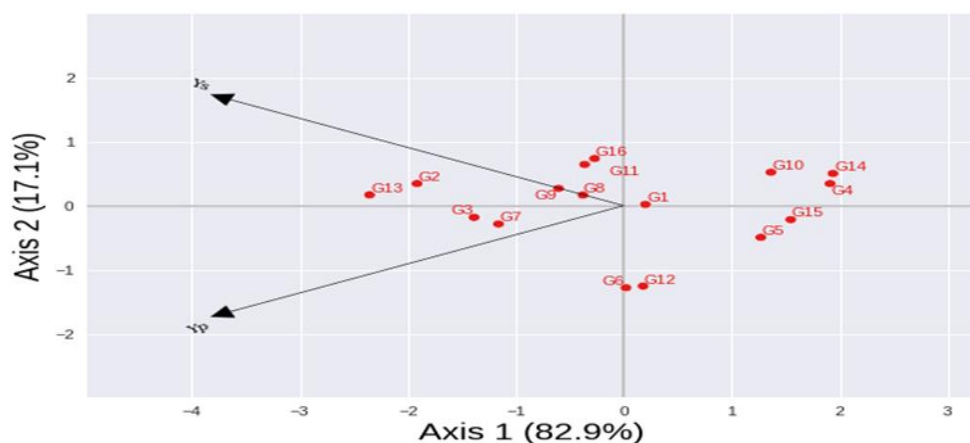


Рисунок 6. GGE біплот-аналіз взаємодії сортів картоплі і умов середовища на 80-й день від садіння в сезон 2020–2021 рр.

Біплотний аналіз за період 2022–2023 рр. вказує, що сорти G5 Радомисль, G12 Авангард, G14 Опілля (за двома обліками), G6 Світана та G10 Фанатка, при другому динамічному підкопуванні, виявили високу врожайність в умовах посухи (вектор Y_s) (рис. 7).

З іншого боку, сорти G11 Межирічка 11, G20 Іванківська рання, G13 Сонцедар і G23 Роставиця найвище значення врожайності проявили в умовах достатнього забезпечення вологою (Y_p) на 65-й день від садіння.

Зазначимо, що при наступному обрахунку на 80-й день високе значення продуктивності при векторі Y_p (рис. 8) продемонстрували сорти G19 Альянс, G13 Сонцедар, G23 Роставиця і G8 Вигода.

Пластичність проявили G6 Світана і G4 Взірець лише при першому обліку.

Біплот-аналіз свідчить, що генотипи G1 Серпанок, G2 Бажана, G7 Нагорода, G9 Партнер, G15 Джавеліна, G16 Володарка, G17 Чарунка, G18 Базалія, G21 Летана і G22 Олександрит проявили низьку продуктивність та чутливість до контрастних умов середовища за обома динамічними обліками.

Від низької до середньої позитивної кореляції виявлено між MP і TOL ($r = 0,089-0,528$), YSI і STI ($r = 0,075-0,386$).

Низьку позитивну чи негативну взаємодію спостерігали при поєднанні індексів: MP і YSI ($r = -0,055-0,335$), MP і SSI ($-0,334-0,059$), SSI і STI ($r =$ від $-0,385$ до $-0,072$), STI і TOL ($r = -0,045-0,399$). Між YSI і SSI ($r = -0,999$), YSI і TOL ($r =$ від $-0,958$ до $-0,780$), SSI і DI ($r =$ від $-0,902$ до $-0,720$), TOL і DI ($r =$ від $-0,657$ до $-0,527$) виявлено високу низьку кореляційну залежність.

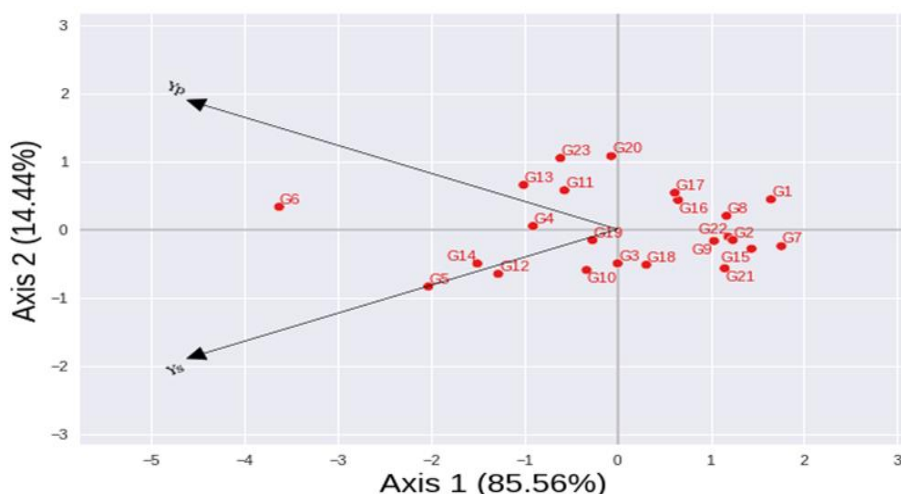


Рисунок 7. GGE біплот-аналіз взаємодії сортів картоплі і умов середовища на 65-й день від садіння в сезон 2022–2023 рр.

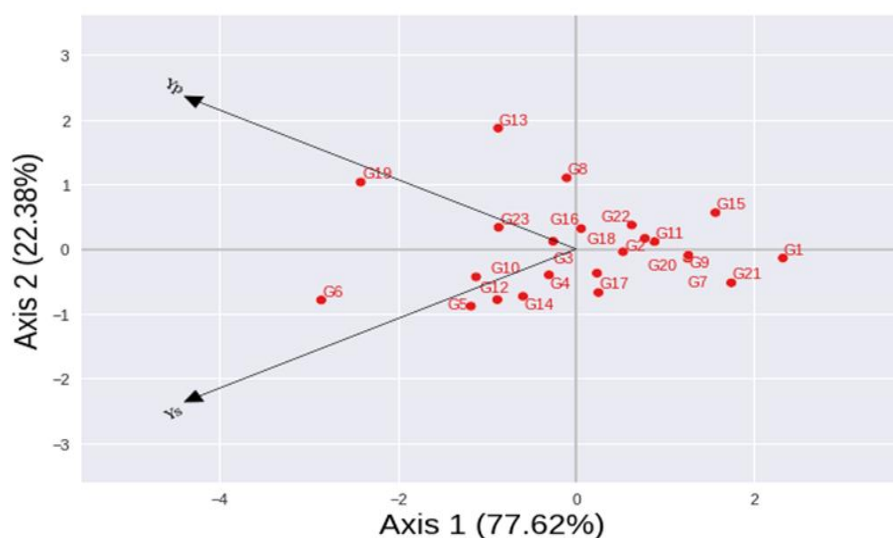


Рисунок 8. GGE біплот-аналіз взаємодії сортів картоплі і умов середовища на 80-й день від садіння в сезон 2022–2023 рр.

Кореляція індексів стресу.

Результати кореляційного аналізу між індексами стійкості до посухи при обох динамічних підкопуваннях в сезонах 2020–2021 та 2022–2023 рр. показали високу позитивну кореляційну залежність

поміж MP і STI (коефіцієнт $r = 0,955–0,977$), MP і DI ($r = 0,549–0,694$), YSI і DI ($r = 0,687–0,901$), SSI і TOL ($r = 0,782–0,957$), STI і DI ($r = 0,655–0,759$) (табл. 5 і табл. 6).

Таблиця 5. Кореляційна залежність між середньою продуктивністю сортів картоплі при динамічних підкопуваннях за індексами посухостійкості, 2020–2021 рр.

	на 65-й день від садіння						на 80-й день від садіння					
	MP	YSI	SSI	STI	TOL	DI	MP	YSI	SSI	STI	TOL	DI
MP	1,000						1,000					
YSI	0,335	1,000					0,030	1,000				
SSI	–0,334	–0,999	1,000				–0,031	–0,999	1,000			
STI	0,974	0,386	–0,385	1,000			0,977	0,147	–0,149	1,000		
TOL	0,155	–0,780	0,782	0,027	1,000		0,089	–0,958	0,957	–0,045	1,00	
DI	0,603	0,901	–0,902	0,656	–0,657	1,000	0,694	0,719	–0,720	0,759	–0,641	1,00

Таблиця 6. Кореляційна залежність між середньою продуктивністю сортів картоплі при динамічних підкопуваннях за індексами посухостійкості, 2022–2023 рр.

	на 65-й день від садіння						на 80-й день від садіння					
	MP	YSI	SSI	STI	TOL	DI	MP	YSI	SSI	STI	TOL	DI
MP	1,000						1,000					
YSI	-0,034	1,000					-0,055	1,000				
SSI	0,035	-0,999	1,000				0,059	-0,999	1,000			
STI	0,955	0,075	-0,072	1,000			0,966	0,092	-0,088	1,000		
TOL	0,528	-0,794	0,793	0,399	1,000		0,406	-0,882	0,884	0,244	1,00	
DI	0,629	0,687	-0,684	0,678	-0,315	1,000	0,549	0,770	-0,769	0,655	-0,527	1,00

Висновки

Сезонні посухи 2020, 2021 та 2023 років негативно впливали на процеси формування та накопичення врожаю. Гідротермічний коефіцієнт у ці періоди відзначався значним коливанням, в інтервалах від дуже сильної слабкої посухи.

За результатами досліджень щодо оцінки стійкості сортів картоплі до посухи, на основі змін у рівні відносного вмісту води в листках встановлено, що під час посушливого літнього сезону 2020–2021 років виділилися генотипи з високим рівнем стійкості: Радомисль, Серпанок, Вигода, Авангард, Нагорода, Джавеліна і Летана. У сезон 2022–2023 років за контрастних умов високий рівень ознаки демонстрували сорти картоплі: Радомисль, Серпанок, Опілля, Нагорода, Авангард, Фанатка, Джавеліна, Базалія, Чарунка, Олександрит і Росташиця.

З аналізу всіх індексів стійкості до посухи найкраще середнє значення рангів у сезоні 2020–2021 рр. відзначено в сортів Альянс, Межирічка 11 і Левада; у період досліджень 2022–2023 рр. – Радомисль, Світана, Авангард, Опілля, Фанатка,

Взірець і Летана, що може свідчити про стійкість відмічених генотипів до посухи під час ранніх накопичень врожаю бульб.

Виділено сорти картоплі, які вирізняються вищою врожайністю при динамічних обліках в умовах посухи на що вказують результати біплот-аналізу: у сезоні 2020–2021 рр. – Радомисль, Нагорода, Базалія, Тирас, Межирічка 11 і Летана, в наступному сезоні – Радомисль, Авангард, Опілля, Світана та Фанатка.

Варто відзначити, що у першому сезоні сорти Тирас, Левада, Нагорода, Межирічка 11 і Летана, а в другому – Вигода, Межирічка 11, Альянс, Іванківська рання, Сонцедар і Росташиця демонстрували значне підвищення врожайності бульб за умов оптимального водозабезпечення, що свідчить про їхню високу реакцію на сприятливі умови вирощування.

Спостерігали виражений позитивний кореляційний зв'язок на всіх етапах досліджень між індексами: MP і STI, DI, YSI і DI, SSI і TOL, STI і DI. Водночас високу від'ємну кореляцію зафіксовано між YSI і SSI, TOL та DI і SSI, TOL.

Список використаної літератури

Aliche E. B., Oortwijn M., Theeuwes T. P. M., Bachem C. W. B., van Eck H. J., Visser R. G., Van der Linden C. G. Genetic mapping of tuber size distribution and marketable tuber yield under drought stress in potatoes. *Euphytica*. 2019. Vol. 215. P.186–204. DOI: 10.1007/s10681-019-2508-00123456789

Ávila-Valdés A., Quinet M., Lutts S., Martínez J. P., Lizana X. C. Tuber yield and quality responses of potato to moderate temperature increase during Tuber bulking under two water availability scenarios. *Field Crops Research*. 2020. Vol. 251. P. 107786. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2020.107786>

Boguszewska-Mankowska D., Pieczynski M., Wyrzykowska A., Kalaji H.M., Sieczko L., Szwejkowska-Kulińska Z., Zagdańska B. Divergent strategies displayed by potato (*Solanum tuberosum* L.) cultivars to cope with soil drought. *Journal of Agronomy and Crop Science*. 2018. Vol. 204, Issue 1. P.13–30. DOI: <https://doi.org/10.1111/jac.12245>

Boguszewska-Mankowska D., Ruszczak B., Zarzyńska K. Classification of Potato Varieties Drought Stress Tolerance Using Supervised Learning.

Applied Sciences. 2022. Vol. 12, Issue 4. P. 1939–1954. DOI: <https://doi.org/10.3390/app12041939>

Bondarchuk A. A., Koltunov V. A., Oliynyk T. M. et al. *Kartoplyarstvo: Metodika doslidnoyi spravi* [Potato growing: Methods of research]. Vinnitsya: TOV «TVORI», 2019. 625 p.

Bousslama M., Schapaugh W. T. Stress tolerance in soybean. Part 1: evaluation of three screening techniques for heat and drought tolerance. *Crop Science*. 1984. Vol. 24, Issue 5. P. 933–937.

Chang D. C., Jin Y. I., Nam J. H., Cheon C. G., Cho J. H., Kim S. J. et al. Early drought effect on canopy development and tuber growth of potato cultivars with different maturities. *Field Crops Research*. 2018. Vol. 215. P. 156–162. DOI:10.1016/j.fcr.2017.10.008

Chen D., Neumann K., Friedel S., Kilian B., Chen M., Altmann T., Klukas C. Dissecting the phenotypic components of crop plant growth and drought responses based on high-throughput image analysis. *The Plant Cell*. 2014. Vol. 26, Issue 12. P.4636–4655. DOI:10.1105/tpc.114.129601.

El-Hendawy S. E., Hassan W. M., Al-Suhaibani N. A. and Schmidhalter U. Spectral



assessment of drought tolerance indices and grain yield in advanced spring wheat lines grown under full and limited water irrigation. *Agricultural Water Management*. 2017. Vol. 182. P. 1–12. DOI: 10.1016/j.agwat.2016.12.003.

FAO: Doubling global potato production in 10 years is possible. 2022. <https://www.fao.org/newsroom/detail/doubling-global-potato-production-in-10-years-is-possible/> (last accessed: 16.01.2024).

Fernandez G. C. J. Effective selection criteria for assessing plant stress tolerance. In *Proceedings of the International Symposium on Adaptation Food Crops to Temperature and Water Stress* / C. G. Kuo (Ed.). Shanhu, Taiwan, AVRDC, 1992. P. 257–270. <https://doi.org/10.22001/wvc.72511>

Ferreira T. C., Goncalves D. A. Crop-yield/water-use production functions of potatoes (*Solanum tuberosum*, L.) grown under differential nitrogen and irrigation treatments in a hot, dry climate. *Agricultural Water Management*. 2007. Vol. 90, Issue 1-2. P. 45–55. DOI:10.1016/j.agwat.2007.02.012

Furdyha M. M. Adaptive ability and potential properties of potato varieties selected by the Institute for Potato Research NAAS. *Agrarian innovations*. 2022. No. 12. P. 103–109. doi:10.32848/agraar.innov.2022.12.16

Gouveia C. S. S., Gananca J. F. T., Slaski J., Lebot V. and de Carvalho M. A. A. P. Variation of carbon and isotope natural abundances ($\delta^{15}\text{N}$ and $\delta^{13}\text{C}$) of whole-plant sweet potato (*Ipomoea batatas* L.) subjected to prolonged water stress. *Journal of Plant Physiology*. 2019. Vol. 243. P. 153052–153057. DOI: 10.1016/j.jplph.2019.153052

Handbook climate change and adaptation of soybean producers of ukraine . Kyiv: association danuyska soya office in Ukraine. 2022. 40 p. <https://www.donausoja.org/wp-content/uploads/2023/02/Atlas-Climate-change-in-Ukraine.pdf>

Hijmans R. J. The effect of climate change on global potato production. *American Journal of Potato Research*. 2003. Vol. 80, Issue 4. P. 271–280. DOI: <https://doi.org/10.1007/BF02855363>

Hryhoriuk I. P., Tkachov V. I., Nyzhnyk T. P., Mytsko V. M., & Voitseshyna N. I. Method for assessing the resistance of potato varieties to drought. 2006. Patent 45055 A, MPK A01G7/00(2006.01).

IPCC, 2023: Summary for Policymakers. In: *Climate Change 2023: Synthesis Report. A Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Contribution of Working Groups I, II and III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Core Writing Team, H. Lee and J. Romero (eds.)]. IPCC, Geneva, Switzerland, 36 p. <https://mepr.gov.ua/diyalnist/napryamky/zminaklimatu/doslidzhennya-shhodo-zminy-klimatu/>

Lahlou O. and Ledent J. F. Root mass and depth, stolons and roots formed on stolons in four cultivars of potato under water stress. *European Journal*

Agronomy. 2005. Vol. 22, No. 2. P.159–173. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.eja.2004.02.004>

Lan J. Comparison of evaluating methods for agronomic drought resistance in crops. *Acta Agriculturae Borealioccidentalis Sinica*. 1998. Vol. 7. P. 85–87.

Levy D., Veilleux R. E. Adaptation of potato to high temperatures and salinity—a review. *American Journal of Potato Research*. 2007. Vol. 84, Issue 6. P. 487–506. DOI:10.1007/BF02987885

Lobell D. B., Schlenker W., Costa-Roberts J. Climate trends and global crop production since 1980. *Science*. 2011. Vol. 333, Issue 6042. P. 616–620. DOI: <https://doi.org/10.1126/science.1204531>.

Luitel B. P., Khatri B. B., Choudhary D., Paudel B. P., Jung-Sook S., Hur O. S., Baek H. J., Cheol K. H., Yul R. K. Growth and yield characters of potato genotypes grown in drought and irrigated conditions of Nepal. *International Journal of Applied Sciences and Biotechnology*. 2015. Vol. 3 (3). P. 513–519. DOI: <https://doi.org/10.3126/ijasbt.v3i3.13347>.

Martinez I., Munoz M., Acuna I., Uribe M. Evaluating the Drought Tolerance of Seven Potato Varieties on Volcanic Ash Soils in a Medium-Term Trial. *Frontiers in Plant Science*. 2021. Vol. 12. P. 1238–1251. DOI: 10.3389/fpls.2021.693060

Nikneshan P., Tadayyon A., Javanmard M. Evaluating drought tolerance of castor ecotypes in the center of Iran. *Heliyon*. 2019. Vol. 5, Issue 4. P. 1403–1415. DOI: 10.1016/j.heliyon.2019.e01403

Obidiegwu J. E., Bryan G. J., Jones H. G., Prashar A. Coping with drought: stress and adaptive responses in potato and perspectives for improvement. *Frontiers in Plant Science*. 2015. Vol. 6. P. 542–564. DOI: <https://doi.org/10.3389/fpls.2015.00542>

Oliynyk T. N., Sidakova O. V., Zakharchuk N.A. & Symonenko N. V. Studying the potential of the initial potato material with the aim of breeding for drought resistance. *Plant Varieties Studying and Protection*, 2017. Vol. 13, No. 4. P. 361–366. DOI: 10.21498/2518-1017.13.4.2017.117733

Primak I. D., Polevyi A. M. *Agricultural meteorology and climatology*. Bila Tserkva, 2008. 488 p.

Pysarenko N.V., Sydorchuk V.I., Zakharchuk N.A., Oliynyk T.M. Comprehensive assessment of drought tolerance of potato varieties by mathematical indices in the conditions of the central polissya of Ukraine. *Agrarian innovation*. 2023. No. 17. P.186–196. DOI:10.32848/agraar.innov.2023.17.27

Pysarenko N., Sydorchuk V. & Zakharchuk N. Environmental plasticity, ultrastability and breeding value as a sign of yield of new potato varieties. *Agriculture and Plant Sciences: Theory and Practice*. 2022. Issue 3. P. 91–101. doi:10.54651/agri.2022.03.10

Rositska N. V. *Adaptyvna reaktsiia roslyn riznykh zhyttievnykh form za umov posukhy* (Extended Abstract of Cand. Biol. Sci. Diss.). Institute of

Agroecology and Environmental Management, Kyiv, Ukraine. 2015. 24 p.

Salehi-lisar S. Y., Bakhshayeshan-agdam H. Drought stress in plants: Causes, consequences, and tolerance. In: Drought Stress Tolerance in Plants (Eds., M. A. Hossain et al.). Springer Press. New York, USA, 2016. Vol. 1. P. 1–16. doi:10.1007/978-3-319-28899-41

Schafleitner R. Growing More Potatoes with Less Water. Tropical Plant Biology. 2009. Vol. 2. P. 111–121. DOI: 10.1007/s12042-009-9033-6

Shahbandeh M. Potato Industry Worldwide - Statistics & Facts. Statista. Agriculture: Farming. 2023. <https://www.statista.com/topics/6003/potato-industry-worldwide/> (last accessed: 16.01.2024).

Sun S., Wang Y., Wang F., Liu J., Luan X., Li X. & Wu P. Alleviating pressure на water resources: anew approach could be attempted.

Scientific reports. 2015. Vol. 5, Issue1. P. 134–141. DOI:10.1038/srep14006

Tang R., Niu S., Zhang G., Chen G., Haroon M., Yang Q., Rajora O. P., Li X. Q. Physiological and growth responses of potato cultivars to heat stress. Botany. 2018. Vol. 96, No. 12, P. 897–912. DOI: doi.org/10.1139/cjb-2018-0125

Van Dam J., Kooman P. and Struik P. Effects of temperature and photoperiod on early growth and final number of tubers in potato (*Solanum tuberosum* L.). Potato Research. 1996. Vol. 39. P. 51–62. DOI: <https://doi.org/10.1007/BF02358206>

Vesali M. R., Baradaran R., Hassanpanah D. & Soqa al-Islami M. J. Evaluation of drought tolerance indices of hybrids from potato commercial cultivars. Environmental Stresses in Crop Sciences, 2021. Vol. 14, Issue 3. P. 747–758. DOI: 10.22077/escs.2020.3123.1801

ASSESSMENT OF POTATO VARIETIES' RESISTANCE TO DROUGHT IN THE EARLY STAGES OF CROP ACCUMULATION IN POLISSIA OF UKRAINE

Nataliia PYSARENKO¹, Mykola FURDYHA², Nataliia ZAKHARCHUK², Tetiana OLIINYK²

¹Polissia Research Department, Institute for Potato Research

²Institute for Potato Research of NAAS of Ukraine

As part of a scientific study, 23 potato varieties were analyzed for drought resistance in the central part of Polissia, Ukraine, based on changes in the relative water content of leaves during the budding and flowering phases of the crop. Tuber yields were taken into account in the early surveys. The dynamics of changes were observed during the early stages of the experiment in the field. During the four years of the study, three years with seasonal droughts were recorded, which were characterized by very dry to slightly dry periods, which was critical for the formation and accumulation of crops. In different years of study, potato varieties with high drought tolerance coefficient at 60th and 75th days after planting were identified, in particular: Radomysl, Serpanok, Vyhoda, Avanhard, Nahoda, Fanatka, Opillia, Bazaliia, Charunka, Dzhavelina, Lietana, Oleksandryt and Rostavytsia. During the correlation analysis between the first and second measurements of the drought tolerance coefficient in potato genotypes, a positive, but weak and medium correlation dependence was found ($r=0.041-0.418$). The use of a ranking system to identify drought tolerance indices allowed identifying potato genotypes with the best average value. In the 2020–2021 season, varieties: Alians, Mezhyrichka 11, and Levada; in the 2022–2023 season – Radomysl, Svitana, Avanhard, Opillia, Fanatka, Vzirets and Lietana. According to the results of the biplot analysis, it was found that potato varieties Radomysl, Nahoroda, Bazaliia, Tyras, Mezhyrichka 11, and Lietana in the period 2021–2022 and Radomysl, Avanhard, Opillia, Svitana and Fanatka in the following season were characterized by higher yields under drought conditions. The factor analysis method revealed genotypes that showed a significant increase in tuber yield only under conditions of optimal moisture supply. In the first season, the yields of Tyras, Levada, Nahoroda, Mezhyrichka 11, and Lietana increased, and in the second season, the yields of Vyhoda, Mezhyrichka 11, Alians, Ivankivska rannia, Sontsedar and Rostavytsia increased. As a result of laboratory and field studies and statistical research on the resistance of potato varieties to seasonal droughts during the early formation and accumulation of tuber yield in the central part of Polissia of Ukraine, it was found that certain potato genotypes have high drought resistance. The results of the research allowed identifying environmentally sustainable sources of stress. The relevance of the work is to identify potato varieties with a high positive response to the negative agroclimatic factors of the region with early dynamic accumulation of yield and the ability to restore water balance in plants under drought conditions quickly.

Keywords: *Solanum tuberosum*, variety, stress, drought resistance coefficient, biplot analysis, drought resistance indices, dynamics of yield accumulation, correlation dependence.

Отримано: 05.07.2024

Погоджено до друку: 28.08.2024