

Солонечний П. М., Васько Н. І., Козаченко М. Р., Зимогляд О. В.,
Солонечна О. В., Шевченко А. С.

*Інститут рослинництва ім. В. Я. Юр'єва НААН
просп. Героїв Харкова, 142, Харків, Україна, 61060
E-mail: pashabarley86@gmail.com*

ДЖЕРЕЛА ВРОЖАЙНОСТІ ТА СТАБІЛЬНОСТІ ДЛЯ СЕЛЕКЦІЇ ЯРОГО ЯЧМЕНЮ

Викладено результати досліджень визначення адаптивного потенціалу 20 сортів ячменю ярого з використанням GGE biplot та АММІ аналізу. Метою роботи було виділити сорти ярого ячменю з високою врожайністю та стабільністю, а також поєднанням цих показників як цінний вихідний матеріал для селекції. За результатами досліджень виділено сорти з високою врожайністю: Ельф, Світоч, Троян та Захисник, з високою стабільністю врожайності за роками — Подив, Бальзам, Ельф, Інер та Захисник. За показником «індекс вибору генотипу» GSI виділено сорти: Інер, Подив та Захисник. Згідно моделі GGE biplot сорти Троян, Ельф, Інер та Захисник були найбільш наближеними до «ідеального генотипу», отже ці сорти є перспективним вихідним матеріалом для селекції ярого ячменю. Обидві моделі оцінки адаптивних особливостей генотипів показали дуже високу кореляцію, але при оцінці стабільності були окремі відмінності. Ці два види аналізу можна використовувати як взаємодоповнюючі.

Ключові слова: *ячмінь ярий, джерела, врожайність, адаптивність, стабільність, вихідний матеріал, селекція.*

ВСТУП

За останні 20 років в Україні сформувалися два стійкі кліматичні тренди — зростання середньої температури та зниження річної кількості опадів, що свідчить про поступове осушення клімату. Відбувається системний зсув темпів та термінів сівби: озимі культури висівають пізніше, ярі — раніше, щоб уникнути посушливого періоду [1].

Без адаптаційних втручань великим є ризик реалізації врожайності нижче очікуваного рівня. Урожайність окремих культур (озима пшениця, ячмінь, кукурудза, соя та соняшник) загрожує значним зниженням у 2030 та 2050 роках. У відсотковому співвідношенні зниження є більшим у випадку ячменю, тоді як ячмінь є однією з найважливіших експорторієнтованих сільськогосподарських культур. Частка України в світовому експорті зерна ячменю складає 7,4 %. У 2024/2025 маркетинговому році було експортовано 3,3 млн. т. Топ-5 напрямків експорту ячменю з України — Китай, Ліван, Іспанія, Йорданія, Туніс. Але площа під ячменем скорочується та складає біля 1,6 млн. га, середня врожайність теж невисока — 3,6 т/га. Тому виникає потреба в стабільних, високоадаптивних до стресів та високоврожайних сортах [1].

Селекція ячменю, як і інших сільськогосподарських культур, є одним із головних рушіїв суттєвого збільшення врожайності та валових зборів [2, 3]. Запорука цього — підвищення генетичного потенціалу нових сортів [4] та їхньої генетичної стійкості до основних біо- та абіотичних чинників [5, 6, 7].

Важливою частиною селекційних програм є визначення адаптивних особливостей вихідного та перспективного селекційного матеріалу до можливих змін клімату, подібні дослідження широко проводяться у світі [8–19]. Для цього традиційно використовують екологічне випробування в різних кліматичних зонах або в одній зоні але за контрастних погодних умов під час періоду вегетації культури. Зручним інструментом для аналізу одержаних результатів випробування є GGE (Genotype plus Genotype-Environment/генотип (G) плюс взаємодія генотип-середовище (GE) biplot та АММІ (Additive Main effects and Multiplicative Interaction/адитивні основні ефекти та мультиплікативна взаємодія) аналіз.

У дослідженнях польських вчених було оцінено мінливість врожайності ярого ячменю та визначено сорти, у яких імовірність зниження врожайності нижче межового значення була найменш імовірною [14]. В Іспанії досліджували 29 сортів ячменю протягом п'яти років з контрастними погодними умовами та встановили, що генотип і середовище значно вплинули на всі ознаки, а взаємодія генотип/середовище — на всі, крім вмісту хлорофілу [15]. Аналогічні дані одержано [19] у Німеччині, де протягом 13 років досліджували вплив погодних умов на врожайність ярого ячменю та встановили, що високі температури та недостатнє вологозабезпечення пояснюють 82 % мінливості врожайності [8]. Такої ж думки дотримуються вітчизняні вчені Камінська В., Буслаєва Н. [16]. Південнокорейськими вченими встановлено, що зони вирощування ячменю посунулися на північ [18]. Вітчизняні вчені — Кирильчук А. М. та ін. [17] — за результатом моніторингу сучасного стану вирощування ярого ячменю визначили одним з найбільш перспективних шляхів збільшення виробництва зерна — впровадження нових високоадаптивних сортів.

Серед багатьох методів визначення стресостійкості сортів ярого ячменю доволі популярним є GGE biplot та АММІ аналіз, який широко використовують дослідники з селекції та рослинництва для визначення адаптивних особливостей різних сільськогосподарських культур, зокрема ячменю [20, 21], пшениці [22], гороху [23] цукрових буряків [24] та ін.

Таким чином, визначення адаптивних особливостей сортів ярого ячменю є актуальним, одержані знання та генотипи, відібрані за комплексом цінних ознак, використовуються в селекційних програмах для створення сортів, як найкраще пристосованих до змін клімату.

Метою досліджень було дослідити особливості адаптивного потенціалу 20 сортів ячменю ярого в умовах східної частини лісостепу України та виділити найбільш перспективний вихідний матеріал для селекційних програм по цій культурі.

МАТЕРІАЛИ, МЕТОДИ ТА УМОВИ ДОСЛІДЖЕННЯ

Польові дослідження виконували в селекційній сівозміні експериментальної бази Інституту рослинництва ім. В. Я. Юр'єва НААН у 2023–2025 років. За вихідний матеріал використано 20 сортів ярого ячменю селекції установ НААН.

Ґрунтовий покрив поданий потужним слабо вилуженим чорноземом на пилювато-суглинистому лесі з товщиною гумусового шару понад 75 см при вмісті гумусу 5,5 – 7,3 %; характеризується агрономічно цінною зернисто-грудкуватою структурою, хорошими фізико-механічними властивостями, великими запасами доступних для рослин речовин. Реакція ґрунтового розчину слабо кисла (рН = 5,7 – 6,0). Харківська область належить до зони нестійкого зволоження з нерівномірними опадами, що періодично призводить до посух.

Сівбу проводили у першій декаді квітня сівалкою ССФК-7 стандартним методом з нормою висіву 4,5 млн. схожих зернин на гектар. Облікова площа ділянок 10 м². Сортовипробування проводили за методикою кваліфікаційної експертизи сортів рослин [25].

Погодні умови у 2023–2024 років під час вегетації ячменю ярого характеризувались тривалими повітряними та ґрунтовими посухами, високою температурою повітря зі

значною амплітудою її коливань. Весь період вегетації ячменю супроводжувався жорсткою посухою та підвищеною температурою повітря. Це несприятливо вплинуло на розвиток рослин та формування врожайності, але дозволило оцінити селекційний матеріал за стійкістю до весняної та літньої посухи та виділити найбільш посухостійкі генотипи. Погодні умови 2025 року були дуже сприятливими для росту й розвитку ярого ячменю. Роки досліджень значно різнились за погодними умовами під час вегетації ярого ячменю, що дозволило оцінити адаптивність та стабільність досліджених сортів в різних умовах.

Для візуального аналізу даних екологічного випробування було використано GGE biplot аналіз, яка складається з двох концепцій: biplot [26] та GGE [27], які використовуються для візуалізації даних екологічного випробування. Ця методологія використовує biplot для відображення факторів генотип та взаємодія генотип-середовище, які є важливими для оцінки генотипу [27, 28].

Стабільність генотипів (значення стабільності за моделлю АММІ аналізу) було розраховано за формулою, запропонованою Purchase et al. [29].

Оцінку за показником GSI (Genotype Selection Index/Індекс добору генотипу) розраховували за формулою $GSI = RASV + RY$, де RASV (Rank of AMMI Stability Value/ранг за стабільністю АММІ, RY (Rank of Yield) — ранг за середньою врожайністю.

Усі розрахунки та побудова графіків biplot були здійснені за допомогою програмного забезпечення Genstat12.

РЕЗУЛЬТАТИ ТА ОБГОВОРЕННЯ

АММІ модель дисперсійного аналізу показала, що існували істотні відмінності для середовища, генотипу та їхньої взаємодії (Табл. 1). Особливістю цієї моделі дисперсійного аналізу є те, що взаємодія генотип (G)-середовище (E) розкладається на першу та другу вісь головних компонентів взаємодії, за допомогою яких можна визначити стабільність генотипів. У нашому дослідженні врожайність зерна ярого ячменю значно залежала від фактору середовище (E), який становив 94,1 % від загальної варіації $G + E + GE$, тоді як генотип (G) та взаємодія генотип-середовище (GE) становили 3,1 % та 2,6 % відповідно. Велика частка впливу фактора «середовище» свідчить про те, що погодні умови років досліджень були різноманітними, що спричинило значне варіювання врожайності за роками.

Таблиця 1. АММІ модель дисперсійного аналізу (ANOVA)*

| Дисперсія | DF | SS | MS | G+E+GE SS (%) | GE SS (%) |
|----------------|-----|-------|---------|---------------|-----------|
| Загальна | 179 | 832,6 | 4,65 | — | — |
| Генотип (G) | 19 | 25,6 | 1,35** | 3,1 | — |
| Середовище (E) | 2 | 783,2 | 391,6** | 94,1 | — |
| Взаємодія (GE) | 38 | 21,9 | 0,58** | 2,6 | — |
| IPCA1 | 20 | 17,7 | 0,88 | — | 80,8 |
| IPCA2 | 18 | 4,3 | 0,24 | — | 19,6 |
| Похибка | 114 | 1,0 | 0,01 | — | — |

*DF — ступені свободи; SS — сума квадратів; MS — середній квадрат; IPCA — вісь головного компонента взаємодії; **істотно на 1 %.

Значна мінливість за врожайністю спостерігалася як за роками, так і між дослідженими сортами кожного року та в середньому за три роки (табл. 2). Так, різниця середньої врожайності сортів ячменю між найбільш несприятливим 2024 роком і найбільш сприятливим 2025 роком становила співвідношення 1 до 4 (1,66 т/га та 6,60 т/га відповідно). Різниця між сортами також була значною — так, їх середня врожайність за три роки мала розмах від 2,80 т/га до 4,29 т/га, тобто фактично 1,50 т/га.

Мінливість врожайності в залежності від умов року найнижчою була в сортів Хорс, Аграрій, Шарм, Аміл, але ці ж сорти були і найменш врожайними (2,80 – 3,58 т/га); найвищою врожайність була у сортів Ельф, Троян, Світоч, Захисник, Інер, Подив (4,00 – 4,29 т/га), але також найбільшою була і різниця між несприятливим 2024 роком та сприятливим 2025 роком (див. табл. 2). Тому за використання даних врожайності було проведено оцінку стабільності генотипів за допомогою АММІ аналізу та візуалізацію врожайності і стабільності, а також їх поєднання за графіками GGE biplot.

Таблиця 2. Урожайність сортів ячменю ярого в 2023–2025 рр., т/га

| № | Сорт | 2023 р. | 2024 р. | 2025 р. | Середнє |
|-------------------|----------|---------|---------|---------|---------|
| 1 | Авгур | 2,54 | 1,65 | 6,35 | 3,51 |
| 2 | Подив | 3,21 | 1,90 | 6,90 | 4,00 |
| 3 | Шедевр | 2,69 | 1,80 | 6,75 | 3,75 |
| 4 | Аміл | 2,83 | 1,61 | 6,30 | 3,58 |
| 5 | Аграрій | 3,27 | 1,70 | 5,35 | 3,44 |
| 6 | Хорс | 3,36 | 1,69 | 4,85 | 3,30 |
| 7 | Бальзам | 3,19 | 1,66 | 6,90 | 3,92 |
| 8 | Троян | 3,64 | 1,68 | 7,30 | 4,21 |
| 9 | Ельф | 3,70 | 1,78 | 7,40 | 4,29 |
| 10 | Світоч | 2,98 | 2,26 | 7,40 | 4,21 |
| 11 | Інер | 3,39 | 1,84 | 6,95 | 4,06 |
| 12 | Геркулес | 3,32 | 1,70 | 6,40 | 3,81 |
| 13 | Кречет | 3,32 | 1,64 | 6,65 | 3,87 |
| 14 | Мирослав | 2,84 | 1,85 | 7,00 | 3,90 |
| 15 | Захисник | 3,49 | 1,94 | 7,15 | 4,19 |
| 16 | Шарм | 1,86 | 1,04 | 5,50 | 2,80 |
| 17 | Експерт | 2,65 | 1,56 | 7,15 | 3,79 |
| 18 | Вісник | 2,55 | 1,17 | 6,70 | 3,47 |
| 19 | Девіз | 1,99 | 1,36 | 6,70 | 3,35 |
| 20 | Вдячний | 2,14 | 1,41 | 6,20 | 3,25 |
| Середнє | | 2,95 | 1,66 | 6,60 | 3,74 |
| НІР ₀₅ | | — | — | — | 0,18 |

У таблиці 3 наведені результати АММІ аналізу: вісі 1 та 2 головних компонентів взаємодії (ІРСА1 та ІРСА2) кожного сорту. Чим меншим є значення цих показників (особливо ІРСА1), тим більш стабільним є генотип. На основі цих показників розраховано показник стабільності ASV та відповідно ранжування сортів за цим показником. Так, найбільший рівень стабільності мав сорт Подив, на другому місці — сорт Інер, на третьому — сорт Захисник і т. д. За даним показником найбільш стабільними за роками були сорти Подив, Інер Захисник, Авгур, Бальзам та Аміл. За поєднанням високої врожайності та стабільності (індекс вибору генотипу — GSI) виділилися сорти Захисник, Інер та Подив.

Таблиця 3. Урожайність та стабільність (АММІ модель) сортів ячменю ярого, 2023–25 рр.*

| Код | Сорт | Y, т/га | RY | ІРСА1 | ІРСА2 | ASV | RASV | GSI |
|-----|-------|---------|----|-------|--------|-------|------|-----|
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
| G1 | Авгур | 3,51 | 13 | 0,292 | -2,507 | 2,774 | 4 | 17 |
| G2 | Подив | 4,00 | 5 | 0,299 | 0,259 | 1,258 | 1 | 6 |

| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
|-----|----------|------|----|---------|--------|--------|----|----|
| G3 | Шедевр | 3,75 | 11 | 1,683 | -2,220 | 7,279 | 12 | 23 |
| G4 | Аміл | 3,58 | 12 | -0,959 | -0,871 | 4,045 | 6 | 18 |
| G5 | Аграрій | 3,44 | 15 | -7,690 | -0,596 | 31,687 | 19 | 34 |
| G6 | Хорс | 3,30 | 17 | -10,366 | -1,265 | 42,716 | 20 | 37 |
| G7 | Бальзам | 3,92 | 6 | 0,720 | 1,929 | 3,538 | 5 | 11 |
| G8 | Троян | 4,21 | 2 | 1,062 | 4,885 | 6,588 | 10 | 12 |
| G9 | Ельф | 4,29 | 1 | 1,244 | 4,929 | 7,111 | 11 | 12 |
| G10 | Світоч | 4,21 | 2 | 3,146 | -2,531 | 13,206 | 16 | 18 |
| G11 | Інер | 4,06 | 4 | -0,045 | 1,715 | 1,725 | 2 | 6 |
| G12 | Геркулес | 3,81 | 9 | -2,385 | 1,392 | 9,924 | 14 | 23 |
| G13 | Кречет | 3,87 | 8 | -1,041 | 2,242 | 4,839 | 8 | 16 |
| G14 | Мирослав | 3,90 | 7 | 2,197 | -1,118 | 9,120 | 13 | 20 |
| G15 | Захисник | 4,19 | 3 | -0,249 | 1,551 | 1,858 | 3 | 6 |
| G16 | Шарм | 2,80 | 19 | -0,655 | -3,411 | 4,349 | 7 | 26 |
| G17 | Експерт | 3,79 | 10 | 4,083 | 0,175 | 16,441 | 17 | 27 |
| G18 | Вісник | 3,47 | 14 | 2,715 | 1,613 | 11,298 | 15 | 29 |
| G19 | Девіз | 3,35 | 16 | 4,604 | -2,866 | 19,191 | 18 | 34 |
| G20 | Вдячний | 3,25 | 18 | 1,346 | -3,302 | 6,502 | 9 | 27 |

*Y — середня врожайність, т/га, RY — ранг за врожайністю, IPCA1 — вісь першого головного компонента взаємодії, IPCA2 — вісь другого головного компонента взаємодії, ASV — показник стабільності АММІ, RASV — ранг ASV, GSI — індекс добору генотипу. Розшифровку кодів генотипів див. далі.

GGE biplot дає змогу візуально оцінити дискримінаційну здатність та репрезентативність середовища як тестера для оцінки генотипів. Базові компоненти PC1 та PC2 (для генотипу та умов року) на рисунку 1 пояснюють 96,03 % загальної мінливості, викликаної взаємодією генотип × середовище.

GGE biplot «Урожайність та стабільність» (рис. 1) використовується для візуального ранжування генотипів за їх середньою врожайністю та стабільністю в ряді середовищ (років). Середня координата середовища (вісь X) ранжує генотипи за їх урожайністю.

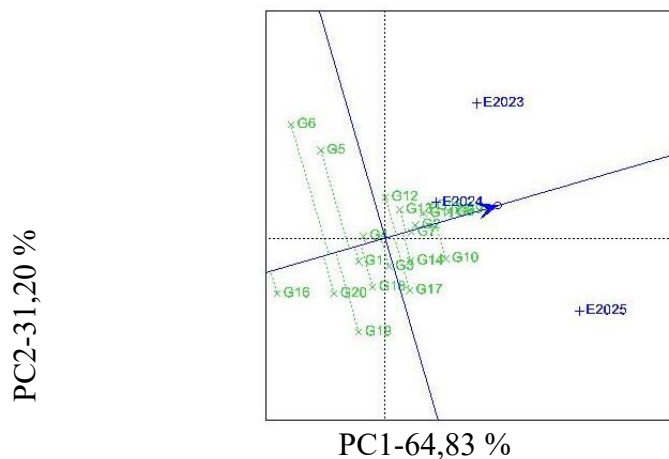


Рис. 1. GGE biplot ранжування генотипів за врожайністю та стабільністю

Вісь Y, або вісь стабільності є перпендикулярною вісі X. Середня врожайність генотипів оцінюється за проекцією своїх маркерів на вісь X. Сорти Ельф (G9), Троян (G8), Інер (G11) та Захисник (G15) мали найвищу середню врожайність, а сорти Шарм (G16) та Вдячний (G20) — найнижчу. Урожайність сортів Хорс (G6), Аграрій (G5) та Девіз (G19) була найбільш варіабельною (найменш стабільною), тоді як сорти Подив (G2), Бальзам (G7), Ельф (G9), Інер (G11) та Захисник (G15) характеризувались високою стабільністю.

Таким чином, GGE biplot допоміг виділити сорти ярого ячменю, які поєднували високу врожайність та стресостійкість, що є важливим для аграрного виробництва.

На рис. 2 GGE biplot дає змогу ранжувати генотипи за «селекційною цінністю». Центр концентричних кіл є положенням так званого «ідеального» генотипу. Чим більше генотип наближений до «ідеального», тим ціннішим він є, адже поєднує високу врожайність та стабільність. У наших дослідженнях найбільш наближеними до «ідеального» генотипу були сорти Ельф (G9), Троян (G8), Захисник (G15) та Інер (G11), що робить їх цінними для виробників зерна та в якості вихідного матеріалу для селекції ячменю.

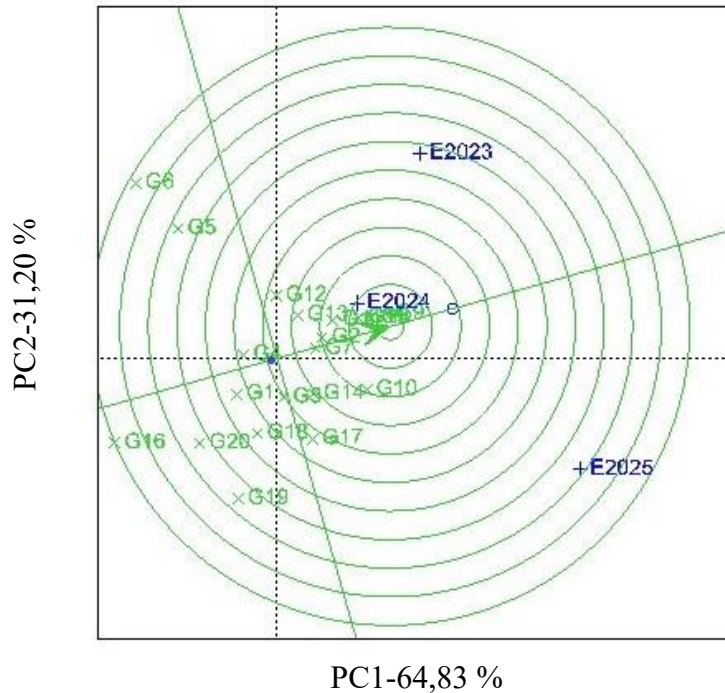


Рис. 2. GGE biplot що визначає генотипи найбільш наближені до «ідеального генотипу»

ВИСНОВКИ

Таким чином, використовуючи моделі АММІ та GGE biplot для аналізу врожайності 20 сортів ячменю ярого за 2023–2025 рр., було виділено найбільш врожайні (Ельф, Троян, Інер, Захисник — 4,29 – 4,06 т/га) та найбільш стабільні (Подив, Бальзам, Ельф, Інер, Захисник) сорти. Сорти, які поєднували обидва показники Ельф, Інер та Захисник, що було підтверджено графіком GGE biplot «ідеальний генотип». Обидві моделі оцінки адаптивних особливостей генотипів показали дуже високу кореляцію, але при оцінці стабільності були окремі відмінності. Ці два види аналізу можна використовувати як взаємодоповнюючі.

Виділені сорти ярого ячменю (за рівнем врожайності Ельф, Троян, Інер, Захисник; за стабільністю — Подив, Бальзам, Ельф, Інер, Захисник) є цінним вихідним матеріалом для селекційних програм по ярому ячменю. Сорти, які різняться за реакцією на контрастні умови років досліджень, у виробничих умовах доповнюватимуть один одного при формуванні сортового складу. Генотипи, які є близькими до «ідеального» (Ельф, Троян, Захисник, Інер), поєднують високу врожайність із стресостійкістю та можуть бути рекомендованими для стабільного отримання врожаю ярого ячменю.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Інфографічний довідник «Агробізнес України 2024/2025». Crédit Agricole, ADAMA, Latifundist.com, TOP/LEAD. 2025. URL: https://agribusinessinukraine.com/get_file/id/agrobiznesukraini2025fin.pdf (дата звернення 20.11.25)

2. Laidig F., Feike T., Klocke B., Macholdt J., Miedaner T., Rentel D., Piepho H. P. Longterm breeding progress of yield, yield-related, and disease resistance traits in five cereal crops of German variety trials. *Theoretical and Applied Genetics*. 2021. Vol. 134. № 12. P. 3805–3827. doi: 10.1007/s00122-021-03929-5
3. Kyrychenko V. V., Vasko N. I., Leonov O. Yu., Shchypak H. V., Suvorova K. Yu., Morhun O. V. Current strategy of cereal breeding. *Селекція і насінництво*. 2022. Вип. 122. С. 100–112. doi: 10.30835/2413-7510.2022.271759
4. Rodrigues O., Minella E., Costenaro E. R. Genetic improvement of barley (*Hordeum vulgare* L.) in Brazil: yield increase and associated traits. *Agricultural Sciences*. 2020. Vol. 11. № 4. P. 425–438. doi: 10.4236/as.2020.114025
5. Rodrigues O., Minella E., Costenaro E. R., Scariotto S., Marchese J. A. Improvement in Brazilian barley breeding: changes in developmental phases and ecophysiological traits. *Frontiers in Plant Science*. 2022. Vol. 13. 1032243. doi: 10.3389/fpls.2022.1032243
6. Laidig F., Feike T., Hadasch S., Rentel D., Klocke B., Miedaner T., Piepho H. P. Breeding progress of disease resistance and impact of disease severity under natural infections in winter wheat variety trials. *Theoretical and Applied Genetics*. 2022. Vol. 134. № 5. P. 1281–1302. doi: 10.1007/s00122-020-03728-4
7. Zetzsche H., Friedt W., Ordon F. Breeding progress for pathogen resistance is a second major driver for yield increase in German winter wheat at contrasting N levels. *Scientific Reports*. 2020. Vol. 10. № 1. 20374. doi: 10.1038/s41598-020-77200-0
8. Yiğit A., Chmielewski F.M. A deeper insight into the yield formation of winter and spring barley in relation to weather and climate variability. *Agronomy*. 2024. Vol. 14. № 7. 1503. doi: 10.3390/agronomy14071503
9. Kumari A. N., Ram K. K. Physiological and yield characteristics of barley (*Hordeum vulgare*) genotypes subjected to drought stress. *Annals of Biology*. 2023. Vol. 39. № 2. P. 362–369.
10. Visioni A., Basile B., Amri A., Sanchez Garcia M., Corrado G. Advancing the conservation and utilization of barley genetic resources: insights into germplasm management and breeding for sustainable agriculture. *Plants*. 2023. Vol. 12. № 18. 3186. doi: 10.3390/plants12183186
11. Serrago R. A., García G. A., Savin R., Miralles D. J., Slafer G. A. Relevance of grain number and grain weight on barley yield responses to environmental and genetic factor. *Field Crops Research*. 2025. Vol. 328. 1. 109922. doi: 10.1016/j.fcr.2025.109922
12. Marone D., Russo M. P., Mores A., Ficco D. B. M., Laidò G., Mastrangelo A. M., Borrelli G. M. Importance of landraces in cereal breeding for stress tolerance. *Plants*. 2021. Vol. 10. doi: 10.3390/plants10071267
13. Yang J., Ahmed H.G.M.D., Akram M., Iqbal R., Alwahibi M.S., Elshikh M.S., Zeng Y. Drought-induced trait correlations in barley genotypes through a multi-trait selection approach. *Applied Ecology and Environmental Research*. 2025. Vol. 23. № 3. doi: 10.15666/aecer/2303_56575674
14. Lenartowicz T., Bujak H., Przystalski M., Piecuch K., Jończyk K., Feledyn-Szewczyk B. Yield stability and adaptability of spring barley (*Hordeum vulgare*) varieties in polish organic field trials. *Agronomy*. 2024. Vol. 14. № 9. 1963. doi: 10.3390/agronomy14091963
15. Saretto F., Roy B., Coelho R. E., Reder A., Fedele G., Oakes R., Brandimarte L., Lourenço T. C. Impacts of climate change and adaptation strategies for rainfed barley production in the Almería Province, Spain. *Atmosphere*. 2024. Vol. 15. № 5. 606. doi: 10.3390/atmos15050606
16. Камінська В., Буслаєва Н. Продуктивність ячменю ярого залежно від погодних умов і рівня інтенсифікації технології вирощування. *Вісник аграрної науки*. 2021. Т. 99. № 5. С. 30–37. doi: 10.31073/agrovisnyk202105-04
17. Кирильчук А. М., Щербиніна Н. П., Чухлеб С. Л. Ячмінь — стан та шляхи збільшення виробництва зерна. *Таврійський науковий вісник*. 2023. № 131. С. 90–103. doi: 10.32702/2226-0099.2023.131.11

18. Kim Y.-G., Park H.-H., Lee H.-J., Kim H.-K., Kuk Y.-I. Growth, yield, and grain quality of barley (*Hordeum vulgare* L.) grown across South Korean farmlands with different temperature distributions. *Agronomy*. 2022. Vol. 12. № 11. 2731. doi: 10.3390/agronomy12112731
19. Abdelghamy A., Lamloom S.F., Naser M. Dissecting the resilience of barley genotypes under multiple adverse environmental conditions. *BMC Plant Biology*. 2024. Vol. 24. № 1. 16. doi: 10.1186/s12870-023-04704-y.
20. Гудзенко В. М., Лисенко А. А., Поліщук Т. П., Буняк Н. М., Кузьменко Є. А., Юрченко Т. В., Худолій Л. В., Каховська І. В. Генетичні джерела врожайності та стабільності для селекції ячменю озимого в лісостепу України. *Сортовивчення та охорона прав на сорти рослин*. 2025. Т. 21. № 1. С. 25–38. doi: 10.21498/2518-1017.21.1.2025.327499
21. Solonechnyi P., Kozachenko M., Vasko N., Gudzenko V., Ishenko V. Kozelets G., Usova N., Logvinenko Yu., Vinyukov A. AMMI and GGE biplot analysis of yield performance of spring barley (*Hordeum vulgare* L.) varieties in multi environment trials. *Agriculture & Forestry*. 2018. Vol. 64, Is. 1. P. 121–132. doi: 10.17707/AgricultForest.64.1.15
22. Nesa N. U., Das A., Sagor G. H. M. AMMI and GGE biplot analysis for selection of some high yielding terminal heat stress tolerant wheat (*Triticum aestivum*) genotypes in Bangladesh. *Agricultural Reserch*. 2025. Vol. 14. № 3. P. 436–451. doi: 10.1007/s40003-024-00791-x
23. Василенко А. О., Січкач В. І., Шевченко Л. М., Вус Н. О., Солонечний П. М., Силенко С. І., Соломонов Р. В., Сердюк В. І., Глянцев А. В. Взаємодія генотип-середовище при екологічному випробуванні сортів гороху у системі АММІ та GGE biplot аналізів. *Plant Breeding & Seed Production*. 2025. № 127. P. 42–55. doi: 10.30835/2413-7510.2025.333727
24. Dang X, Hu X, Ma Y, Li Y, Kan W, Dong X. AMMI and GGE biplot analysis for genotype × environment interactions affecting the yield and quality characteristics of sugar beet. *Peer Journal*. 2024. Vol. 12. e16882. doi: 10.7717/peerj.16882
25. 25 Методика проведення кваліфікаційної експертизи сортів рослин на придатність до поширення в Україні. Загальна частина / М-во аграрної політики та продовольства України, Укр. ін-т експертизи сортів рослин. Київ, 2016. 117 с. URL: <https://sops.gov.ua/psp> (дата звернення 20.11.25)
26. Gabriel K.R. The biplot graphic display of matrices with application to principal component analysis. *Biometrika*. 1971. Vol. 58. № 3. P. 453–467.
27. Yan W., Hunt L.A., Shen Y. Q., Szlavnic Z. Cultivar evaluation and mega-environment investigation based on the GGE biplot. *Crop Science*. 2000. Vol. 40. P. 597–605. doi: 10.2135/cropsci2000.403597x
28. Gauch H. G. Statistical analysis of yield trials by AMMI and GGE. *Crop Science*. 2006. Vol. 46. P. 1488–1500. doi: 10.2135/cropsci2005.07-0193
29. Purchase J.L, Hatting H., Vandeventer C.S. Genotype × environment interaction of winter wheat (*Triticum aestivum* L.) in South Africa: Stability analysis of yield performance. *South African Journal of Plant and Soil*. 2000. Vol. 17. № 3. P. 101–107. doi: 10.1080/02571862.2000.10634878

REFERENCES

1. Infografichniy dovidnyk «Agrobiznes Ukrainy 2024/2025». Crédit Agricole, ADAMA, Latifundist.com, TOP/LEAD. 2025. [Internet]. [cited 2025 Nov 20]. Available from: https://agribusinessinukraine.com/get_file/id/agrobiznesukraini2025fin.pdf
2. Laidig F, Feike T, Klocke B, Macholdt J, Miedaner T, Rentel D, Piepho HP. 2021. Longterm breeding progress of yield, yield-related, and disease resistance traits in five cereal crops of German variety trials. *Theoretical and Applied Genetics*. 134(12): 3805-3827. doi: 10.1007/s00122-021-03929-5

3. Kyrychenko VV, Vasko NI, Leonov OYu, Shchypak HV, Suvorova KYu, Morhun OV. 2022. Current strategy of cereal breeding. Sel Nasinn. 122: 100-112. doi: 10.30835/2413-7510.2022.271759
4. Rodrigues O, Minella E, Costenaro ER. 2020. Genetic improvement of barley (*Hordeum vulgare* L.) in Brazil: yield increase and associated traits. Agricultural Sciences. 11(04): 425-438. doi: 10.4236/as.2020.114025
5. Rodrigues O, Minella E, Costenaro ER, Scariotto S, Marchese JA. 2022. Improvement in Brazilian barley breeding: changes in developmental phases and ecophysiological traits. Frontiers in Plant Science. 13: 1032243. doi: 10.3389/fpls.2022.1032243
6. Laidig F, Feike T, Hadasch S, Rentel D, Klocke B, Miedaner T, Piepho HP. 2022. Breeding progress of disease resistance and impact of disease severity under natural infections in winter wheat variety trials. Theoretical and Applied Genetics. 134(5): 1281-1302. doi: 10.1007/s00122-020-03728-4
7. Zetzsche H, Friedt W, Ordon F. 2020. Breeding progress for pathogen resistance is a second major driver for yield increase in German winter wheat at contrasting N levels. Scientific Reports. 10(1): 20374. doi: 10.1038/s41598-020-77200-0
8. Yiğit A, Chmielewski FM. 2024. A deeper insight into the yield formation of winter and spring barley in relation to weather and climate variability. Agronomy. 14(7): 1503. doi: 10.3390/agronomy14071503
9. Kumari AN, Ram KK. 2023. Physiological and yield characteristics of barley (*Hordeum vulgare*) genotypes subjected to drought stress. Annals of Biology. 39(2): 362-369.
10. Visioni A, Basile B, Amri A, Sanchez Garcia M, Corrado G. 2023. Advancing the conservation and utilization of barley genetic resources: insights into germplasm management and breeding for sustainable agriculture. Plants. 12(18): 3186. doi: 10.3390/plants12183186
11. Serrago RA, García GA, Savin R, Miralles DJ, Slafer GA. 2025. Relevance of grain number and grain weight on barley yield responses to environmental and genetic factor. Field Crops Research. 328(1): 109922. doi: 10.1016/j.fcr.2025.109922
12. Marone D, Russo MP, Mores A, Ficco DBM, Laidò G, Mastrangelo AM, Borrelli GM. 2021. Importance of landraces in cereal breeding for stress tolerance. Plants. 10. doi: 10.3390/plants10071267
13. Yang J, Ahmed HGM.D, Akram M, Iqbal R, Alwahibi MS, Elshikh MS, Zeng Y. 2025. Drought-induced trait correlations in barley genotypes through a multi-trait selection approach. Applied Ecology and Environmental Research. 23(3). doi: 10.15666/aeer/2303_56575674
14. Lenartowicz T, Bujak H, Przystalski M, Piecuch K, Jończyk K, Feledyn-Szewczyk B. 2024. Yield stability and adaptability of spring barley (*Hordeum vulgare*) varieties in polish organic field trials. Agronomy. 14(9): 1963. doi: 10.3390/agronomy14091963
15. Saretto F, Roy B, Coelho RE, Reder A, Fedele G, Oakes R, Brandimarte L, Lourenço TC. 2024. Impacts of climate change and adaptation strategies for rainfed barley production in the Almería Province, Spain. Atmosphere. 15(5): 606. doi: 10.3390/atmos15050606
16. Kaminska V., Buslayeva N. 2021. Productivity of spring barley depending on the weather conditions and the level of intensification of growing technology. Bulletin of Agricultural Science. 99(5): 30-37. doi: 10.31073/agrovisnyk202105-04
17. Kyrylchuk A.M., Shcherbynina N.P., Chukhleb C.L. 2023. Barley – status and ways of increase grain production. Taurida Scientific Herald. 2023. 131:90-103. doi: 10.32702/2226-0099.2023.131.11
18. Kim YG, Park HH, Lee HJ, Kim HK, Kuk YI. 2022. Growth, yield, and grain quality of barley (*Hordeum vulgare* L.) grown across South Korean farmlands with different temperature distributions. Agronomy. 12(11): 2731. doi: 10.3390/agronomy12112731
19. Abdelghamy A, Lamlom SF, Naser M. 2024. Dissecting the resilience of barley genotypes under multiple adverse environmental conditions. BMC Plant Biology. 24(1): 16. doi: 10.1186/s12870-023-04704-20.

20. Hudzenko VM, Lysenko AA, Polishchuk TP, Buniak NM, Kuzmenko YA, Yurchenko TV, Khudolii LV, Kokhovska IV. 2025. Genetic sources of yield and stability for winter barley breeding under conditions of the Ukrainian Forest-Steppe. *Plant Varieties Studying and Protection*. 21(1): 25-38. doi: 10.21498/2518-1017.21.1.2025.327499
21. Solonechnyi P, Kozachenko M, Vasko N, Gudzenko V, Ishenko V, Kozelets G, Usova N, Logvinenko Yu, Vinyukov A. 2018. AMMI and GGE biplot analysis of yield performance of spring barley (*Hordeum vulgare L.*) varieties in multi environment trials. *Agriculture & Forestry*. 64(1): 121-132. doi: 10.17707/AgricultForest.64.1.15
22. Nesa NU, Das A, Sagor GHM. 2025. AMMI and GGE biplot analysis for selection of some high yielding terminal heat stress tolerant wheat (*Triticum aestivum*) genotypes in Bangladesh. *Agric Res*. 14: 436-451. doi: 10.1007/s40003-024-00791-x
23. Vasylenko AO, Sichkar VI, Shevchenko LM, Vus NO, Solonechnyi PM, Silenko SI, Solomonov RV, Serduk VI, Gyantsev AV. 2025. AMMI and GGE biplot analysis of genotype-environment interaction in environmental trials of pea cultivars. *Plant Breeding & Seed Production*. 127: 42-55. doi: 10.30835/2413-7510.2025.333727
24. Dang X, Hu X, Ma Y, Li Y, Kan W, Dong X. 2024. AMMI and GGE biplot analysis for genotype × environment interactions affecting the yield and quality characteristics of sugar beet. *Peer Journal*. 12. e16882. doi: 10.7717/peerj.16882
25. Methodology for qualifying examination of plant varieties for suitability for dissemination in Ukraine. *Methods for determining crop quality indicators*. Kyiv: UIESR. 2016. 159 p. [Internet]. [cited 2025 Nov 20]. Available from: <https://sops.gov.ua/psp>
26. Gabriel KR. 1971. The biplot graphic display of matrices with application to principal component analysis. *Biometrika*. 58(3): 453-467.
27. Yan W, Hunt LA, Shen Y, Szlavnic Z. 2000. Cultivar evaluation and mega-environment investigation based on the GGE biplot. *Crop Science*. 40: 597-605. doi: 10.2135/cropsci2000.403597x
28. Gauch HG. 2006. Statistical analysis of yield trials by AMMI and GGE. *Crop Science*. 46: 1488–1500. doi: 10.2135/cropsci2005.07-0193
29. Purchase JL, Hatting H, Vandeventer CS. 2000. Genotype × environment interaction of winter wheat (*Triticum aestivum L.*) in South Africa: Stability analysis of yield performance. *South African Journal of Plant and Soil*. 17: 101-107. doi: 10.1080/02571862.2000.10634878

Solonechnyi P. M., Vasko N. I., Kozachenko M. R., Zymogliad O. V., Solonechna O. V., Shevchenko A. S.

Yuriev Plant Production Institute of NAAS

142, Heroiv Kharkova Ave., Kharkiv, 61060, Ukraine

E-mail: pashabarley86@gmail.com

SOURCES OF HIGH YIELD AND STABILITY FOR SPRING BARLEY BREEDING

Aim. The study aimed to investigate the adaptive potential of 20 spring barley cultivars in the eastern Forest-Steppe of Ukraine and to identify the most promising starting material for breeding programs.

Results and Discussion. GGE biplot and AMMI analysis identified several cultivars with high grain yields, specifically cvs. 'Elf', 'Svitoch', 'Troian', and 'Zakhysnyk'. High yield stability across the years was observed in cvs. 'Podyv', 'Balzam', 'Elf', 'Iner', and 'Zakhysnyk'. Based on the Genotype Selection Index (GSI), cvs. 'Iner', 'Podyv', and 'Zakhysnyk' were selected. In the GGE biplot model, cvs. 'Troian', 'Elf', 'Iner', and 'Zakhysnyk' were the closest to the "ideal genotype"; therefore, these cultivars are promising starting materials for spring barley breeding.

Conclusions. The identified spring barley cultivars (by yield level: cvs. 'Elf', 'Troian', 'Iner', and 'Zakhysnyk'; by stability: cvs. 'Podyv', 'Balzam', 'Elf', 'Iner', and 'Zakhysnyk') represent

valuable starting materials for breeding programs. Cultivars that differ in their response to contrasting environmental conditions during the study years can complement one another in commercial production to stabilize total output. Genotypes close to the "ideal" (cvs. 'Elf', 'Troian', 'Zakhysnyk', and 'Iner') combine high yield capacity with stress tolerance and are recommended for stable spring barley production.

Keywords: *spring barley, sources, yield, adaptability, stability, starting material, breeding.*

УДК 633.11:58.04:58.02

DOI: 10.36814/pgr.2025.37.03

Чернобай Ю. О., Шиянова Т. П., Кузьмишина Н. В., Докукіна К. І., Богуславський Р. Л., Поздняков В. В.

*Інститут рослинництва ім. В. Я. Юр'єва НААН
просп. Героїв Харкова, 142, Харків, 61060, Україна
E-mail: ncpgru@gmail.com*

СИНТЕТИЧНІ ФОРМИ — ДЖЕРЕЛА ПОСУХОСТІЙКОСТІ ПШЕНИЦІ У ФАЗІ СХОДІВ

Проводили експрес-оцінку посухостійкості у фазі проростків шляхом пророщування на розчині осмотика ПЕГ 6000 35 синтетичних форм (синтетиків) пшениці із колекції Національного генбанку рослин України у порівнянні з п'ятьма сортами м'якої та твердої пшениці. Встановлено, що оптимальною концентрацією цієї осмотичної речовини є 15%. Серед ознак, що характеризують посухостійкість проростків, найбільш інформативними є схожість та кількість корінців на сьомий день пророщування. З випробуваних селекційних сортів пшениці найбільш витривалим до посухи у фазі проростків є сорт твердої озимої пшениці Континент. Суттєво менш витривалими є сорти твердої ярої пшениці Спадщина, м'якої озимої пшениці Бунчук, м'якої ярої пшениці Елегія миронівська, м'якої ярої пшениці Харківська 30. Із синтетиків виділено зразки з номерами Національного каталога UA0500044, UA0500064, IU070452, які перевершили або дорівнювали контрольному сорту Континент. Ці зразки є найбільш перспективними джерелами даної ознаки для селекції.

Ключові слова: *синтетичні форми пшениці, посухостійкість, проростки, розчин осмотика, ПЕГ 6000.*

ВСТУП

Стійкість рослин до посухи у фазі сходів є важливою властивістю сортів, що вирощуються у виробництві, оскільки визначає можливість одержати якісні сходи, отже можливість одержання врожаю і рівень урожайності, зокрема у зв'язку зі змінами клімату. Витривалість рослин до посухи визначається комплексом анатомо-морфологічних, фізіологічних, біохімічних ознак. Прояв кожної з цих ознак обумовлений вираженістю і взаємодією генотипових і фенотипових чинників [1, 2].

Один з ефективних шляхів підвищення посухостійкості культурних рослин у ювенільній фазі — використання генотипової складової, яка оцінюється рівнем прояву ознак на однорідному фоні. Прості методи для масової порівняльної оцінки посухостійкості польових культур у фазі проростків ґрунтуються на оцінці схожості насінин та інших