УДК 633.16:631.527:581.1(477.41/.42) https://doi.org/10.21498/2518-1017.21.1.2025.327499

Генетичні джерела врожайності та стабільності для селекції ячменю озимого в Лісостепу України

В. М. Гудзенко[1,2]*, А. А. Лисенко[3], Т. П. Поліщук[4], Н. М. Буняк[1], Є. А. Кузьменко[4], Т. В. Юрченко[4], Л. В. Худолій[2], І. В. Коховська[2]

*[1]Носівська селекційно-дослідна станція Миронівського інституту пшениці імені В. М. Ремесла НААН України, вул. Миру, 1, с. Дослідне, Носівський р-н, Чернігівська обл., 17131, Україна, *e-mail: barley22@ukr.net*
[2]Український інститут експертизи сортів рослин, вул. Горіхуватський шлях, 15, м. Київ, 03041, Україна
[3]ТОВ «Київ-Атлантик Україна», вул. Степова, 8, м. Миронівка, Обухівський р-н, Київська обл., 08800, Україна
[4]Миронівський інститут пшениці імені В. М. Ремесла НААН України, вул. Центральна, 68, с. Центральне, Обухівський р-н, Київська обл., 08853, Україна

Мета. Установити особливості рівня прояву й варіабельності врожайності колекційних зразків ячменю озимого та виділити генетичні джерела для селекції в умовах Лісостепу України. **Методи.** Дослідження проводили в умовах Миронівського інституту пшениці імені В. М. Ремесла НААН у 2018/19, 2020/21 та 2021/22 рр. Матеріалом для досліджень слугували 74 колекційні зразки ячменю ярого різного походження. Використовуючи статистичні параметри адаптивності та графічні моделі AMMI і GGE biplot, визначали взаємодію «генотип – рік» і здійснювали характеристику зразків. Останні групували кластерним аналізом. Рівень достовірності в досліді та зв'язок між параметрами адаптивності встановлювали за допомогою дисперсійного та кореляційного аналізів відповідно. **Результати.** Виявлено суттєву варіабельність врожайності як між роками досліджень (від 436 г/м^2 у 2018/19 р. до 621 г/м^2 у 2021/22 р.), так і між зразками в межах року (2018/19 р. – від 625 до 171 г/м^2, 2020/21 р. – від 738 до 138 г/м^2, 2021/22 р. – від 855 до 374 г/м^2). Відповідно до AMMI моделі встановлено статистично високі частки внеску в загальну фенотипову варіацію всіх її джерел: року (41,72%), генотипу (37,30%) та взаємодії «генотип – рік» (21,15%). Дві перші головні компоненти вказаної моделі охоплювали 100% варіації «генотип – рік», тоді як у GGE biplot – 85,14%. Виокремлено 12 колекційних зразків відмітного за походженням ячменю озимого ['Merlo' (FRA), 'МИР 12-11' (UKR), 'Titus' (DEU), 'Академічний' (UKR), 'МИР 12-9' (UKR), 'Снігова королева' (UKR), 'Novosadski 525' (SRB), 'Novosadski 737' (SRB), 'Matador' (FRA), 'Radical / Pervenets' (SYR), 'Scarpia' (DEU), 'Manitum' (FRA)], які мали достовірно вищу, ніж у стандарту 'Жерар' (UKR), урожайність (587–685 г/м^2 проти 534 г/м^2). Однак за рівнем прояву останньої навіть серед них спостерігали різні особливості реакції на умови окремих років. Це знайшло своє відображення в різних значеннях статистичних параметрів адаптивності та графічному розподілі зразків у координатах головних компонент AMMI та GGE biplot моделей. На основі лімітів варіювання врожайності та статистичних параметрів адаптивності виділені зразки розподілили на п'ять відмітних кластерів. **Висновки.** Комбінування між собою як батьківських компонентів схрещування високопродуктивних зразків, що належать до різних кластерів, доповнене еколого-географічним принципом, матиме вагоме практичне значення для створення вихідного матеріалу на підвищення врожайності та адаптивності в умовах Лісостепу України.

Ключові слова: *Hordeum vulgare L.; статистичний параметр адаптивності; AMMI; GGE biplot; кореляція; кластерний аналіз.*

Вступ

Ячмінь (*Hordeum vulgare* L.) є однією з основних сільськогосподарських культур світу, а тому його всебічному дослідженню та поліпшенню приділено значну увагу [1]. Ячмінь озимий, як порівняти з ярим, в умовах достатнього рівня перезимівлі має суттєво вищий потенціал урожайності та характеризується меншою її варіабельністю [2]. Тож у зонах земної кулі, де за гідротермічним режимом можливо вирощувати сорти цього типу розвитку культури, останніми роками спостерігають тенденцію до збільшення площ саме осінньої сівби [3, 4]. Нині в більшості об-

Volodymyr Hudzenko
https://orcid.org/0000-0002-9738-1203
Anna Lysenko
https://orcid.org/0000-0002-2575-5720
Tetiana Polishchuk
https://orcid.org/0000-0001-9358-9181
Nataliia Buniak
https://orcid.org/0000-0002-5089-2399
Yevhenii Kuzmenko
https://orcid.org/0000-0002-6256-1482
Tetiana Yurchenko
https://orcid.org/0000-0003-0164-4003
Liudmyla Khudolii
https://orcid.org/0000-0002-9586-7592
Iryna Kokhovska
https://orcid.org/0000-0002-0491-3996

© The Author(s) 2025. Published by Ukrainian Institute for Plant Variety Examination.
This is an open access article distributed under the terms of the license CC BY-SA 4.0 (https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/), which permits use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

ластей нашої держави посіви ячменю озимого досить добре переносять зимовий період. Це пов'язано із суттєвим потеплінням останнього. Для створення сортів, адаптованих до умов Лісостепу України, в Миронівському інституті пшениці імені В. М. Ремесла НААН із 1970-х років проводять активну селекційну роботу [5].

Селекція ячменю, як і решти важливих сільськогосподарських культур, є одним із головних рушіїв суттєвого збільшення врожайності та валових зборів [6–8]. Запорука цього – підвищення генетичного потенціалу нових сортів [9] та їхньої генетичної стійкості проти основних біо- та абіотичних чинників [10–12]. Для озимого типу розвитку культури – це зимостійкість, генетичні та фізіологічні аспекти, які сприяють її формуванню [13–15], а також (як і для ячменю ярого) такі ознаки, як толерантність до дефіциту вологи й підвищених температур [16–18], стійкість проти вилягання [19] та низки збудників хвороб [20–22].

Зосереджені в генбанках генетичні колекції є джерелами різноманітних ознак, необхідних для селекційного поліпшення створюваних сортів [23–25]. Один із найбільших генбанків світу сформовано в Україні. Він налічує понад 154 тисячі зразків 544 культур 1802 видів рослин. Завдяки відданій праці менеджменту та науковців Національного центру генетичних ресурсів рослин (м. Харків) і низки установ-співвиконавців програми «Генетичні ресурси рослин», це – без перебільшення – національне та світове наукове надбання вдалося зберегти, продовжити формувати та систематично вивчати навіть попри розв'язану росією брутальну війну [26]. У глобальному масштабі особливої актуальності в практичній селекції та молекулярно-генетичних дослідженнях генетичні ресурси набули за стрімких кліматичних змін останніх років [27, 28]. Відповідно, формування, збереження та всебічне вивчення колекційних зразків розглядають як основу для подальшого поступу в селекції та подолання викликів, які постають перед нею [29–31].

З господарського погляду, основною (узагальнювальною) ознакою, безумовно, є врожайність. Саме тому їй [32] та її складникам – продуктивній кущистості [33], масі 1000 зерен [34], елементам продуктивності колоса [35] – приділено значну увагу в наукових дослідженнях.

З метою ефективного оцінювання сортів, селекційних ліній, колекційних зразків не лише за середніми значеннями фенотипового прояву врожайності, але і їхніх диференціацій за особливостями рівня прояву цієї ознаки в різних умовах (різних географічних локацій, років, строків сівби тощо) широко використовують як різноманітні статистичні параметри адаптивності, так і графічні моделі – GGE biplot, AMMI тощо. Зокрема, високу ефективність і практичну цінність таких досліджень доведено не тільки для ячменю [36–38], а й для низки найрізноманітніших культур у різних країнах світу: рису [39], сорго [40, 41], кінських бобів [42], земляного горіха бамбара [43], батату [44], соняшнику [45], гірчиці індійської [46], каяну [47], кунжуту індійського [48], нуту [49].

Мета досліджень – установити особливості рівня прояву й варіабельності врожайності колекційних зразків ячменю озимого та виділити генетичні джерела для селекції в умовах Лісостепу України.

Матеріали та методика досліджень

Дослідження проводили в умовах Миронівського інституту пшениці імені В. М. Ремесла НААН (МІП) у 2018/19, 2020/21 і 2021/22 рр. Географічна локація: широта – 49°64', довгота – 31°08', висота над рівнем моря – 153 м. Ґрунт – чорнозем глибокий малогумусний, слабковилугований. Глибина гумусового горизонту досягає 40 см. Уміст гумусу – 3,8%, лужногідролізованого азоту – 60 мг, фосфору – 221 мг, обмінного калію – 96 мг на 1 кг ґрунту. Кислотність (pH сольове) – 5,9. Питома вага твердої фази ґрунту становить 2,67 г/см^3. Об'ємна маса ґрунту за профілем не перевищує 1,29 г/см^3, орного шару – 1,27 см^3.

Матеріалом для дослідження слугували 74 зразки ячменю озимого, що походять із семи країн: України – 44, Франції – 11, Німеччини – шість, Сирії – п'ять, Сербії – чотири, Чехії – два, а також один із Великобританії. Їх відібрали після попереднього оцінювання у 2017/18 р. з нових надходжень від Національного центру генетичних ресурсів рослин України та зі зразків колекції МІП, для яких проводили процедуру поновлення схожості. Критерієм відбору був комплекс цінних господарських ознак – урожайності, рівня перезимівлі, стійкості проти вилягання та збудників хвороб.

Сівбу проводили сівалкою СКС-6-10Ц у першій п'ятиденці жовтня. Облікова площа ділянки становила 1 м^2. Повторність – триразова з повною рендомізацією. Стандарт – ячмінь озимий 'Жерар' – розміщували через 20 номерів.

Для всебічного оцінювання зразків проаналізували рівень прояву врожайності та особливості її варіювання, використавши низку

статистичних параметрів і графічних моделей. Згідно з оригінальними роботами розраховували й аналізували коефіцієнт екологічної пластичності (b_i) та варіансу стабільності (S^2_{di}) [50], еквалeнсу (W_i) [51], показник переваги сорту (P_i) [52], а також непараметричні показники стабільності [$S_i^{(1)}$ і $S_i^{(2)}$] [53]. За В. В. Хангільдіним і М. А. Литвиненком (цит. за [54]) визначали показники гомеостатичності (Hom) та селекційної цінності (Sc). Графічні візуалізації AMMI та GGE biplot виконували у програмі GEA-R, version 4.1 (CIMMYT, Мексика) [55], а їхню інтерпретацію здійснювали відповідно до оригінальних повідомлень [56–58]. Статичний і кластерний аналіз проводили за допомогою комп'ютерної програми Statistica 12 (TIBCO, США). Щоб схарактеризувати зв'язки, використовували таку градацію коефіцієнта кореляції: r = < 0,3 – зв'язок слабкий, r = 0,3–0,5 – помірний, r = 0,5–0,7 – середній, r = 0,7–0,9 – сильний, r = > 0,9 – дуже сильний, наближений до функціонального.

Дані розташованої у безпосередній близькості до дослідних полів агрометеостанції «Миронівка» щодо гідротермічного режиму років досліджень подано в таблиці 1. Можна простежити значне варіювання показників середньомісячної температури повітря та кількості опадів як відносно середнього багаторічного значення, так і між дослідженими роками, що суттєво вплинуло на рівень формування врожайності ячменю озимого та своєю чергою сприяло диференціації зразків за цією ознакою.

Таблиця 1

Гідротермічний режим вегетаційних років досліджень зразків ячменю озимого

Вегетаційний рік	Місяць											
	VIII	IX	X	XI	XII	I	II	III	IV	V	VI	VII
Температура повітря, °C												
2021/22 р.	20,5	13,2	7,6	4,8	–1,1	–1,2	1,7	2,3	8,4	14,6	20,7	20,4
2020/21 р.	21,1	18,6	13,2	3,8	–0,3	–2,3	–4,6	2,3	7,7	14,5	20,2	23,3
2018/19 р.	22,0	16,6	10,6	0,1	–1,9	–4,8	0,4	4,8	10,4	17,3	22,6	19,7
Середнє багаторічне	19,4	14,3	8,2	2,2	–2,3	–4,7	–3,7	1,2	9,0	15,3	18,4	20,2
Кількість опадів, мм												
2021/22 р.	88,1	18,7	17,8	25,5	63,3	22,8	9,2	10,1	86,0	29,3	41,7	55,1
2020/21 р.	7,8	21,3	38,4	27,5	38,3	56,6	61,3	28,3	47,2	87,0	100,4	111,2
2018/19 р.	14,9	85,0	28,3	22,1	71,7	39,4	25,2	27,2	23,4	50,9	86,8	50,0
Середнє багаторічне	61,0	50,4	35,8	39,7	40,6	35,8	30,7	32,7	41,5	51,7	78,8	79,3

Одним із загальних трендів було переважання середньої температури повітря в усі роки досліджень (2018/19 р. – 9,8 °C, 2020/21 р. – 9,8 °C, 2021/22 р. – 9,3 °C) над усередненим багаторічним значенням (8,1 °C). Таку саму тенденцію спостерігали й у межах окремих місяців, за винятком жовтня, квітня і травня у 2021/22 р., листопада, грудня та липня у 2018/19 р., лютого, квітня і травня у 2020/21 р.

Загальна кількість опадів була вищою за середню багаторічну (578,1 мм) лише у 2020/21 р. – 625,3 мм. Натомість у 2018/19 і 2021/22 рр. вона становила 524,9 і 467,6 мм відповідно. Таку саму закономірність спостерігали і в період від часу відновлення вегетації до завершення наливу зерна та його дозрівання (березень – червень): середнє багаторічне – 204,7 мм, 2018/19 р. – 188,3 мм, 2020/21 р. – 262,9 мм, 2021/22 р. – 167,1 мм.

Детальніше аналізуючи погодні умови весняного періоду, з апроксимацією на рівень урожайності, наведений далі у результатах досліджень, слід зауважити, що ймовірним чинником, який сприяв формуванню значних урожаїв у 2021/22 р., була вдвічі більша, ніж середня багаторічна, кількість опадів. Такі погодні умови спостерігали під час етапів кущіння та стеблування ячменю озимого. Водночас показники температури повітря у лютому та березні відчутно переважали багаторічні значення, а у квітні, навпаки, – дещо поступалися їм. Це дало змогу створити передумови для формування підвищеної врожайності відповідно до елементів її структури – продуктивної кущистості та кількості колосків у колосі. Надлишкові опади у травні та червні 2020/21 р. призвели до значного вилягання рослин, що негативно позначилось на врожайності зразків. Своєю чергою суттєво вища за середню багаторічну температура повітря з березня до червня 2018/19 р. спричинила пришвидшене проходження етапів розвитку ячменю і, відповідно, негативно вплинула на закладення потенційної продуктивності на рівні основних структурних елементів. Додатковим чинником у цьому аспекті була вдвічі менша за усереднену багаторічну кількість опадів у квітні вказаного вегетаційного року. Достатнє зволоження, але, як зазначено раніше, на тлі підвищених температур травня – червня (етапи формування та наливу зерен), не змогло повністю компенсувати попередньо не закладений достатній продуктивний потенціал. Водночас,

що вказано далі, досліджені колекційні зразки в зазначені роки досить сильно різнилися між собою за рівнем урожайності. А тому можна стверджувати як про їхній різний потенціал продуктивності, так і щодо відмітностей за компенсаторними ефектами.

Результати досліджень

Рівень прояву врожайності зразків

Найвищий рівень урожайності в середньому для всіх досліджених зразків зафіксовано в умовах 2021/22 р. – 621 г/м^2 [із варіюванням від 855 г/м^2 у G55 'Novosadski 737' (SRB) до 374 г/м^2 у G71 '(IR 08287)' (SYR)] (табл. 2), а найнижчий відмічено в досліді 2018/19 р. – 436 г/м^2 [від 625 г/м^2 у G58 'Merlo' (FRA) до 171 г/м^2 у G5 'Л 562' (UKR)]. У 2020/21 р., як порівняти з 2018/19 р., зразки сформували дещо більшу врожайність – 473 г/м^2. Її максимальні значення в цей період (так само як і у 2018/2019 р.) продемонстрував G58 'Merlo' (FRA) – 738 г/м^2, а мінімальними (як і в умовах 2021/2022 р.) відзначився G71 '(IR 08287)' (SYR) – 138 г/м^2. Ці ж два зразки характеризувалися найвищим і найнижчим значеннями лімітів варіювання ознаки в середньому за три роки досліджень: G58 'Merlo' (FRA) – 685 г/м^2, G71 '(IR 08287)' (SYR) – 245 г/м^2. Середня врожайність усього досліду становила 510 г/м^2.

Стандарт G1 'Жерар' (UKR) (534 г/м^2) у середньому за роки досліджень перевищували 22 зразки, 12 з них – достовірно ($НІР_{0,05}$ – 50 г/м^2). Крім G58 'Merlo' (FRA), у спадному порядку це G51 'Titus' (DEU) – 656 г/м^2, G55 'Novosadski 737' (SRB) – 641, G17 'Академічний' (UKR) – 637, G40 'МИР 12-11' (UKR) – 630, G18 'Снігова королева' (UKR) – 606, G66 'Manitum' (FRA) – 605, G38 'МИР 12-9' (UKR) – 603, G53 'Novosadski 525' (SRB) – 602, G70 'Radical / Pervenets' (SYR) – 596, G49 'Scarpia' (DEU) – 594, G62 'Matador' (FRA) – 587 г/м^2. Відповідно в межах похибки перевагу над G1 'Жерар' (UKR) мали десять зразків: G57 'Luran' (CZE), G2 'Трудівник' (UKR), G33 'МИР 12-7' (UKR), G60 'Baraka' (FRA), G56 'Okal' (CZE), G34 'МИР 4790' (UKR), G23 'МИР 4867' (UKR), G64 'Cindy' (FRA), G48 'Augusta' (DEU), G45 'МИР 13/1' (UKR) (565–542 г/м^2).

Характеристика колекційних зразків за статистичними параметрами адаптивності

Ліпший, ніж у G1 'Жерар' (UKR) (Cv = 23,23%), коефіцієнт варіації мали 38 зразків, утім лише вісім з них достовірно переважали вказаний стандарт за врожайністю. А саме: G38 'МИР 12-9' (UKR) (Cv = 6,98%), G58 'Merlo' (FRA) (Cv = 8,26%), G53 'Novosadski 525' (SRB) (Cv = 11,89%), G18 'Снігова королева' (UKR) (Cv = 13,47%), G51 'Titus' (DEU) (Cv = 14,39%), G17 'Академічний' (UKR) (Cv = 15,29%), G49 'Scarpia' (DEU) (Cv = 15,76%), G40 'МИР 12-11' (UKR) (Cv = 16,70%). Ще шість зразків – G33 'МИР 12-7' (UKR), G60 'Baraka' (FRA), G23 'МИР 4867' (UKR), G64 'Cindy' (FRA), G34 'МИР 4790' (UKR), G57 'Luran' (CZE) – поступалися стандарту за коефіцієнтом варіації (Cv = 9,83–19,86%) та мали більшу, ніж у нього, врожайність, проте в межах похибки.

Відповідно до коефіцієнта регресії (b_i) установлено варіювання значень вказаного параметра для вивчених зразків – від b_i = –0,09 до 2,04. Поєднання наближеної до оптимальної для цього набору зразків реакції на умови років досліджень (b_i = 1,07), низького числового (ліпшого) значення варіанси стабільності (σ^2_i = 0,11) та достовірного перевищення стандарту за врожайністю виявлено у G40 'МИР 12-11' (UKR). Максимальний коефіцієнт регресії, тобто найсильнішу реакцію на зміну умов середовища, зафіксовано у G55 'Novosadski 737' (SRB) – b_i = 2,40. Це пов'язано з найбільшим серед досліджених зразків розмахом варіювання врожайності (418 г/м^2) за роками: від 437 г/м^2 у 2018/19 р. до 855 г/м^2 у 2021/22 р.

Водночас вище зазначено, що він був урожайнішим, ніж стандарт, як у середньому за три роки, так і в розрізі окремих років. Загалом, зразки, які достовірно переважали G1 'Жерар' (UKR) за врожайністю, мали різні характеристики за вказаним параметром. Зокрема, найменшим числовим значенням (найслабшою реакцією на зміну умов середовища) з цієї групи, на противагу G55 'Novosadski 737', відзначився G58 'Merlo' (FRA) (b_i = 0,16). Решту відносно можна диференціювати так: G38 'МИР 12-9' (UKR), G51 'Titus' (DEU), G53 'Novosadski 525' (SRB), G49 'Scarpia' (DEU) (b_i = 0,42–0,64); G18 'Снігова королева' (UKR), G17 'Академічний' (UKR) (b_i = 0,81–0,90); G62 'Matador' (FRA), G70 'Radical / Pervenets' (SYR), G66 'Manitum' (FRA) (b_i = 1,44–1,58). Подібно можливо розподілити й зразки, що мали перевагу над стандартом, але в межах похибки: G34 'МИР 4790' (UKR), G60 'Baraka' (FRA), G64 'Cindy' (FRA), G33 'МИР 12-7' (UKR), G23 'МИР 4867' (b_i = 0,13–0,58); G57 'Luran' (CZE) (b_i = 1,14); G48 'Augusta' (DEU), G45 'МИР 13/1' (UKR), G56 'Okal' (CZE), G2 'Трудівник' (UKR) (b_i = 1,48–1,76). Абсолютні мінімальні значення коефіцієнта регресії були у G54 'Novosadski 529' (SRB) (b_i = –0,09), G52 'Novosadski 519' (SRB) (b_i = –0,01), G67 'Sumo' (FRA) (b_i = 0,06). Середня за три роки врожайність цих зразків у

Таблиця 2

Характеристика колекційних зразків ячменю озимого за врожайністю та статистичними параметрами

Шифр	Зразок	Країна	Урожайність, г/м²				Статистичні параметри								
			2018/19 р. (E19)	2020/21 р. (E21)	2021/22 р. (E22)	Mean	Cv	b_i	σ^2_i	W_i	P_i	$S_i^{(1)}$	$S_i^{(2)}$	Hom_i	Sc_i
G1	‘Жерар’ – стандарт	UKR	441	487	675	534	23,23	1,27	6,30	13,60	215,43	4,67	57,50	229,82	348,80
G2	‘Трудівник’	UKR	462	466	767	565	31,02	1,76	66,21	130,17	180,76	14,33	336,50	182,08	339,78
G3	‘Задор’	UKR	439	386	558	461	19,09	0,79	21,80	43,76	411,93	8,33	162,50	241,42	318,94
G4	‘Л 122’	UKR	446	391	629	488	25,52	1,16	27,88	55,59	340,25	13,83	161,62	191,38	303,46
G5	‘Л 562’	UKR	171	375	432	326	42,14	1,12	70,70	138,92	863,24	7,00	37,00	77,29	128,76
G6	‘Л 13/2’	UKR	356	414	643	471	32,27	1,55	29,11	57,99	371,43	10,00	249,12	145,92	260,44
G7	‘Л 4/2’	UKR	307	368	462	379	20,60	0,78	7,02	15,00	654,86	3,67	10,50	183,72	251,51
G8	‘Л 2/2’	UKR	508	353	662	508	30,37	1,18	108,39	212,26	331,86	32,67	806,62	167,17	271,10
G9	‘Л 4п1/2’	UKR	390	463	637	497	25,60	1,29	9,18	19,21	297,62	6,33	100,50	193,90	303,76
G10	‘Л 2/1’	UKR	431	504	572	502	14,08	0,68	15,68	31,85	288,16	12,83	191,62	356,70	378,05
G11	‘Л 4п/1’	UKR	415	263	511	396	31,50	0,85	91,09	178,58	646,71	9,33	165,50	125,82	204,24
G12	‘Л п5/11’	UKR	393	253	466	370	29,20	0,69	81,92	160,76	734,47	6,67	114,50	126,93	201,19
G13	‘Л 17/7’	UKR	516	425	598	513	16,90	0,65	46,97	92,74	293,00	13,83	458,62	303,66	364,47
G14	‘Л п4/1’	UKR	363	427	552	447	21,51	0,97	1,53	4,31	428,86	6,83	35,12	207,86	293,78
G15	‘Абориген’	UKR	366	378	623	456	31,77	1,46	25,11	50,20	417,11	7,33	89,50	143,49	268,07
G16	‘Метелиця’	UKR	430	206	607	414	48,57	1,45	226,57	442,22	638,61	19,83	305,62	85,27	140,31
G17	‘Академічний’	UKR	608	558	746	637	15,29	0,90	18,75	37,83	74,00	9,33	69,50	417,19	476,94
G18	‘Снігова королева’	UKR	528	600	691	606	13,47	0,81	7,57	16,07	92,22	2,00	9,50	450,09	463,46
G19	‘Буревій’	UKR	417	461	633	504	22,70	1,17	2,02	5,28	282,11	2,50	14,25	221,97	331,70
G20	‘Зимовий’	UKR	385	482	699	522	30,81	1,63	41,80	82,68	246,34	14,50	473,62	169,36	287,45
G21	‘Достойний’	UKR	334	455	692	494	36,89	1,84	75,76	148,76	319,22	19,33	843,12	133,86	238,30
G22	‘МИР 4787’	UKR	510	390	680	526	27,65	1,21	76,46	150,12	275,37	27,83	582,62	190,40	302,08
G23	‘МИР 4867’	UKR	563	461	629	551	15,37	0,58	57,84	113,89	220,11	12,50	462,62	358,51	403,58
G24	‘МИР 4773’	UKR	352	353	541	416	26,18	1,09	4,37	9,83	534,81	3,67	11,12	158,86	270,59
G25	‘МИР 4660’	UKR	473	436	676	528	24,44	1,24	23,67	47,40	244,45	15,67	190,50	216,04	340,78
G26	‘МИР 4580’	UKR	350	385	565	433	26,60	1,17	2,49	6,18	474,43	2,67	16,00	162,98	268,32
G27	‘МИР 12-1’	UKR	562	425	577	522	16,06	0,35	101,36	198,57	298,05	16,00	723,00	325,03	384,39
G28	‘МИР 12-2’	UKR	406	366	660	477	33,47	1,55	54,67	107,72	374,39	20,83	488,12	142,62	264,33
G29	‘МИР 12-3’	UKR	444	521	572	512	12,62	0,59	23,90	47,84	266,73	13,50	252,25	406,48	397,46
G30	‘МИР 12-4’	UKR	476	455	544	492	9,50	0,43	34,61	68,69	331,51	12,33	342,62	517,33	411,02
G31	‘МИР 12-5’	UKR	335	535	642	504	30,90	1,39	72,34	142,10	285,25	20,00	624,00	162,92	262,85
G32	‘МИР 12-6’	UKR	363	565	653	527	28,26	1,29	71,05	139,60	232,69	18,17	511,62	186,50	292,69
G33	‘МИР 12-7’	UKR	527	537	628	564	9,83	0,56	18,58	37,49	169,00	11,33	301,00	574,02	473,78
G34	‘МИР 4790’	UKR	458	660	546	555	18,29	0,13	179,17	349,98	215,79	28,67	812,50	303,34	384,62
G35	‘МИР 4723’	UKR	471	414	582	489	17,51	0,75	24,96	49,92	339,23	11,33	252,62	279,16	347,45
G36	‘МИР 4654’	UKR	385	470	630	495	25,13	1,25	9,47	19,77	300,35	7,50	95,12	196,81	302,34
G37	‘МИР 12-8’	UKR	416	496	631	515	21,11	1,09	4,17	9,46	253,52	7,00	49,00	243,76	339,40
G38	‘МИР 12-9’	UKR	564	598	648	603	6,98	0,42	33,56	66,65	110,74	9,00	192,50	862,29	525,00
G39	‘МИР 12-10’	UKR	464	472	631	522	18,00	0,95	1,52	4,29	245,07	3,67	31,00	290,08	383,94
G40	‘МИР 12-11’	UKR	546	597	748	630	16,70	1,07	0,11	1,56	62,74	4,00	13,00	377,34	459,79
G41	‘МИР 12-12’	UKR	489	420	632	514	21,06	0,96	28,71	57,21	282,55	16,33	272,50	243,97	341,34
G42	‘МИР 12-13’	UKR	325	580	634	513	32,15	1,30	121,54	237,85	272,59	26,00	831,00	159,67	263,28
G43	‘МИР 12-14’	UKR	460	373	619	484	25,72	1,08	43,47	85,93	359,84	17,33	274,50	188,26	292,06
G44	‘МИР 12-15’	UKR	405	419	584	469	21,25	1,01	0,85	2,98	372,61	2,67	5,50	220,95	325,37
G45	‘МИР 13/1’	UKR	412	502	711	542	28,30	1,55	32,27	64,14	203,26	12,67	362,50	191,39	314,13

Продовження таблиці 2

Шифр	Зразок	Країна	Урожайність, г/м²				Статистичні параметри								
			2018/19 р. (E19)	2020/21 р. (E21)	2021/22 р. (E22)	Mean	Cv	b_i	σ^2_i	W_i	P_i	$S_i^{(1)}$	$S_i^{(2)}$	Hom_i	Sc_i
G46	'Naomie'	DEU	417	490	651	519	23,02	1,21	5,71	12,44	244,43	5,17	65,12	225,64	332,81
G47	'Highlight'	DEU	396	216	458	357	35,18	0,70	121,32	237,42	803,90	7,00	147,00	101,41	168,52
G48	'Augusta'	DEU	339	608	685	544	33,39	1,48	143,46	280,50	213,12	22,00	1039,00	162,89	269,17
G49	'Scarpia'	DEU	486	647	650	594	15,76	0,64	62,10	122,18	116,53	14,17	164,62	376,95	444,44
G50	'Maybrit'	DEU	368	504	646	506	27,46	1,35	30,50	60,69	273,91	11,33	265,50	184,34	288,49
G51	'Titus'	DEU	548	720	700	656	14,39	0,55	80,77	158,51	50,44	4,00	16,00	455,26	498,64
G52	'Novosadski 519'	SRB	491	521	500	504	3,09	-0,01	101,90	199,62	318,36	16,00	690,12	1620,92	474,51
G53	'Novosadski 525'	SRB	521	628	657	602	11,89	0,58	35,81	71,03	103,77	7,33	104,50	505,77	477,18
G54	'Novosadski 529'	SRB	518	564	517	533	5,02	-0,09	123,73	242,11	260,38	18,00	876,00	1061,02	488,67
G55	'Novosadski 737'	SRB	437	630	855	641	32,62	2,04	142,98	279,58	78,35	12,33	412,50	196,46	327,79
G56	'Okal'	CZE	428	502	740	557	29,30	1,66	43,05	85,11	179,38	11,00	279,00	190,15	321,99
G57	'Luran'	CZE	478	525	692	565	19,86	1,14	1,41	4,08	156,02	3,33	33,50	284,46	390,46
G58	'Merlo'	FRA	625	738	691	685	8,26	0,16	98,71	193,43	44,83	4,67	65,50	828,62	580,19
G59	'Panda'	FRA	358	456	681	498	33,15	1,67	47,61	93,98	301,70	14,67	487,00	150,31	262,29
G60	'Baraka'	FRA	497	595	593	562	9,99	0,37	57,56	113,35	175,65	13,67	380,50	562,50	469,25
G61	'Diapason'	FRA	384	532	680	532	27,79	1,42	41,11	81,33	218,80	12,50	429,12	191,45	300,57
G62	'Matador'	FRA	465	552	744	587	24,29	1,44	21,62	43,42	121,16	6,67	101,50	241,53	366,85
G63	'Poulaine'	FRA	486	430	658	524	22,62	1,10	25,51	50,98	255,36	16,50	207,62	231,98	342,98
G64	'Cindy'	FRA	440	629	581	550	17,87	0,45	107,79	211,09	202,81	25,33	545,50	307,21	384,19
G65	'Classica'	FRA	406	435	607	483	22,49	1,11	0,80	2,89	335,36	0,67	1,25	214,67	322,91
G66	'Manitum'	FRA	426	624	765	605	28,11	1,58	83,47	163,77	101,16	13,00	450,50	215,29	337,27
G67	'Sumo'	FRA	516	506	524	515	1,72	0,06	86,47	169,61	292,60	17,17	713,12	2996,44	497,84
G68	'Glenan'	FRA	516	409	659	528	23,80	1,03	56,11	110,51	264,84	25,33	506,50	221,87	327,34
G69	'Carrery'	GBR	345	423	484	417	16,66	0,65	19,08	38,47	525,82	10,33	82,50	250,12	297,50
G70	'Radical / Pervenets'	SYR	461	578	749	596	24,30	1,44	28,95	57,67	106,10	8,67	170,50	245,50	367,12
G71	'(IR 08287)'	SYR	224	138	374	245	48,69	1,03	40,54	80,22	1253,29	0,33	0,50	50,41	90,70
G72	'(20604)*'	SYR	511	461	576	516	11,14	0,47	39,37	77,96	279,71	13,00	388,62	463,54	413,20
G73	'(20618)*'	SYR	355	442	539	446	20,62	0,89	8,02	16,94	433,62	12,00	108,00	216,22	293,78
G74	'(20625)*'	SYR	342	372	499	405	20,60	0,85	1,56	4,37	567,17	1,67	2,50	196,48	277,43
Mean			436	473	621	510	22,82	1,00	49,45	97,57	312,59	11,81	285,45	327,88	337,02
Max			625	738	855	685	48,69	2,04	226,57	442,22	1253,29	32,67	1039,00	2996,44	580,19
Min			171	138	374	245	1,72	-0,09	0,11	1,56	44,83	0,33	0,50	50,41	90,70
R (max–min)			455	600	481	439	46,97	2,13	226,46	440,66	1208,46	32,34	1038,50	2946,03	489,49
$HIP_{0,05}$			40	57	53	50	–	–	–	–	–	–	–	–	–

Примітка. Mean, Max, Min – середнє, максимальне та мінімальне значення врожайності, відповідно, г/м²; R (max–min) – розмах варіювання, г/м²; Cv – коефіцієнт варіації,%; b_i – коефіцієнт регресії; σ^2_i – варіанса стабільності; W_i – ековаленса; P_i – показник переваги сорту; $S_i^{(1)}$ і $S_i^{(2)}$ – непараметричні показники стабільності; Hom_i – показник гомеостатчності; Sc_i – селекційна цінність.

межах похибки виявилася нижчою, ніж у стандарту (504–533 г/м^2). Характерний для них мінімальний розмах варіювання врожайності за роками [лише 18–47 г/м^2 проти 235 г/м^2 у G1 'Жерар' (UKR)] власне й зумовив такі значення цього показника.

Серед зразків із достовірно вищою, ніж у стандарту, врожайністю тільки один – G40 'МИР 12-11' (UKR) – виділено за варіансою стабільності (σ^2_i) та ековаленсою (W_i). Він мав найліпші абсолютні значення цих параметрів у досліді (σ^2_i = 0,11, W_i = 1,56). Варто звернути увагу й на G57 'Luran' (CZE), що також мав перевагу над G1 'Жерар' (UKR) за показниками варіанси стабільності та ековаленси (σ^2_i = 1,41, W_i = 4,08), але не виявив достовірного перевищення за врожайністю. Інші десять зразків за вказаними параметрами були стабільнішими від стандарту (σ^2_i = 6,30, W_i = 13,60), проте поступалися йому за середньою врожайністю.

За числовим значенням показника переваги сорту P_i ліпшими, ніж G1 'Жерар' (UKR) (P_i = 215,43), були всі зразки з достовірним перевищенням за врожайністю, а також вісім із десяти зразків, що характеризувалися перевищенням у межах похибки. Серед останніх виключення становили G34 'МИР 4790' (UKR) і G23 'МИР 4867', але й вони суттєво не поступалися стандарту. Отже, вказаний параметр досить сильно орієнтований на середню врожайність. Єдиною різницею можна вважати незначну зміну рангів (черговості) зразків, якщо їх аналізувати паралельно у спадному порядку за середньою врожайністю та цим показником.

За першим непараметричним індексом стабільності $S_i^{(1)}$ ліпшими, ніж G1 'Жерар' (UKR) [$S_i^{(1)}$ = 4,67], були 14 зразків. З них достовірно перевищували стандарт за врожайністю G18 'Снігова королева' (UKR) [$S_i^{(1)}$ = 2,00], G51 'Titus' (DEU) [$S_i^{(1)}$ = 4,00], G40 'МИР 12-11' (UKR) [$S_i^{(1)}$ = 4,00] та G58 'Merlo' (FRA) [$S_i^{(1)}$ = 4,67], недостовірно – G57 'Luran' (CZE) [$S_i^{(1)}$ = 3,33]. Окрім G58 'Merlo' (FRA), усі вказані зразки (загалом 16) і за другим непараметричним показником стабільності $S_i^{(2)}$ були ліпшими, ніж G1 'Жерар' (UKR) [$S_i^{(2)}$ = 57,50].

За показником гомеостатичності (Hom_i) перевагу над стандартом (Hom_i = 229,82) мали 32 зразки. Десять з них достовірно перевищували його за врожайністю: G38 'МИР 12-9' (UKR), G58 'Merlo' (FRA), G53 'Novosadski 525' (SRB), G51 'Titus' (DEU), G18 'Снігова королева' (UKR), G17 'Академічний' (UKR), G40 'МИР 12-11' (UKR), G49 'Scarpia' (DEU), G70 'Radical / Pervenets' (SYR), G62 'Matador' (FRA) (Hom_i = 862,29–241,53), а ще шість – у межах $HIP_{0,05}$: G33 'МИР 12-7' (UKR), G60 'Baraka' (FRA), G23 'МИР 4867' (UKR), G64 'Cindy' (FRA), G34 'МИР 4790' (UKR), G57 'Luran' (CZE) (Hom_i = 574,02–284,46). Максимальне значення цього параметра продемонстрували зразки, що раніше були нами схарактеризовані як такі, що мають найменші числові значення коефіцієнта регресії (b_i), але в дещо іншій послідовності, у спадному порядку: G67 'Sumo' (FRA) (Hom_i = 2996,44), G52 'Novosadski 519' (SRB) (Hom_i = 1620,92), G54 'Novosadski 529' (SRB) (Hom_i = 1061,02).

За показником селекційної цінності (Sc_i) ліпшими, ніж G1 'Жерар' (UKR) (Sc_i = 348,80), виявилися 26 зразків. Десять із них переважали стандарт за врожайністю на достовірному рівні: G58 'Merlo' (FRA) (Sc_i = 580,19), G38 'МИР 12-9' (UKR) (Sc_i = 525,00), G51 'Titus' (DEU) (Sc_i = 498,64), G53 'Novosadski 525' (SRB) (Sc_i = 477,18), G17 'Академічний' (UKR) (Sc_i = 476,94), G18 'Снігова королева' (UKR) (Sc_i = 463,46), G40 'МИР 12-11' (UKR) (Sc_i = 459,79), G49 'Scarpia' (DEU) (Sc_i = 444,44), G70 'Radical / Pervenets' (SYR) (Sc_i = 367,12), G62 'Matador' (FRA) (Sc_i = 366,85), шість – на статистично недостовірному рівні: G33 'МИР 12-7' (UKR), G60 'Baraka' (FRA), G23 'МИР 4867' (UKR), G57 'Luran' (CZE), G34 'МИР 4790' (UKR), G64 'Cindy' (FRA) (Sc_i = 473,78–384,19). Ще десять зразків поступалися G1 'Жерар' (UKR) за врожайністю, але в межах похибки (492–533 г/м^2): G67 'Sumo' (FRA), G54 'Novosadski 529' (SRB), G52 'Novosadski 519' (SRB), G72 '(20604)*' (SYR), G30 'МИР 12-4' (UKR), G29 'МИР 12-3' (UKR), G27 'МИР 12-1' (UKR), G39 'МИР 12-10' (UKR), G10 'Л 2/1' (UKR), G13 'Л 17/7' (UKR) (Sc_i = 497,84–364,47).

Отже, найліпші значення всіх без винятку параметрів, як порівняти з G1 'Жерар' (UKR), серед зразків, що достовірно перевищували стандарт за врожайністю, мав G40 'МИР 12-11' (UKR), з-поміж групи зразків із переважанням за врожайністю в межах похибки – G57 'Luran' (CZE).

Кореляція між параметрами адаптивності

Завдяки кореляційному аналізу виявлено, що середнє значення врожайності (Mean) майже на одному рівні досить сильно співвідносилося з її максимальним (Max) та мінімальним (Min) проявом – r = 0,85 і 0,88 відповідно (табл. 3). Між Max і Min установлено середній позитивний зв'язок – r = 0,56. Це свідчить про наявність у вказаній вибірці групи зразків, що поєднували як високі значення Max, так і Min за роки досліджень. Виділення таких зразків має важливе практичне значення. Дуже сильний негативний

зв'язок установлено між Mean та показником переваги сорту (P_i) – r = –0,96, помірний негативний – між Mean та коефіцієнтом варіації (Cv) – r = –0,49. Слабку кореляцію із середнім рівнем урожайності мали параметри b_i, σ^2_i, W_i, $S_i^{(1)}$, $S_i^{(2)}$ (r = –0,04–0,24), а сильну – показник селекційної цінності (Sc_i) (r = 0,79). Помірний зв'язок із Max простежували лише в показників Sc_i та b_i – r = 0,38 і 0,47 відповідно. Решта параметрів не були пов'язані з максимальним рівнем урожайності (r = –0,11–0,20). Дуже сильну кореляцію з Min виявлено для Sc_i (r = 0,97), сильну негативну – для Cv (r = –0,80), помірну – для Hom_i (r = 0,48), помірну негативну – для b_i (r = –0,38).

Характеризуючи кореляційні зв'язки між окремими параметрами адаптивності, варто насамперед звернути увагу на функціональну залежність між σ^2_i і W_i (r = 1,00). Це означає, що у процесі аналізу даних достатньо визначити лише один із них. Сильну позитивну кореляцію виявлено між парами b_i і Cv (r = 0,77), $S_i^{(1)}$ і $S_i^{(2)}$ (r = 0,85); сильну негативну – Sc_i і Cv (r = –0,89), P_i і Sc_i (r = –0,76); середню – P_i і Cv (r = 0,51), σ^2_i і $S_i^{(1)}$ (r = 0,62), σ^2_i і $S_i^{(2)}$ (r = 0,67), Sc_i і Hom_i (r = 0,60); середню негативну – Hom_i і Cv (r = –0,65), b_i і Hom_i (r = –0,58), b_i і Sc_i (r = –0,57). У решти комбінацій параметрів зв'язки були слабкими. Наведені залежності слід ураховувати, приймаючи відповідні рішення щодо визначення оптимальних реакцій зразків за тими чи іншими параметрами, з огляду на мету їх подальшого використання у селекційному процесі.

Таблиця 3

Кореляційний аналіз урожайності та статистичних параметрів адаптивності

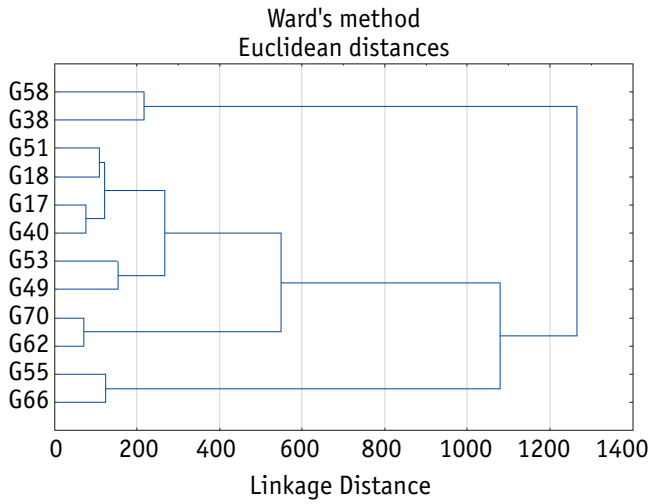
Показники	Mean	Max	Min	Cv	b_i	σ^2_i	W_i	P_i	$S_i^{(1)}$	$S_i^{(2)}$	Hom_i
Max	0,85										
Min	0,88	0,56									
Cv	–0,49	0,00	–0,80								
b_i	–0,04	0,47	–0,38	0,77							
σ^2_i	0,05	0,07	–0,18	0,23	–0,11						
W_i	0,05	0,07	–0,18	0,23	–0,11	1,00					
P_i	–0,96	–0,83	–0,86	0,51	–0,02	0,06	0,06				
$S_i^{(1)}$	0,15	0,20	–0,04	0,09	0,01	0,62	0,62	–0,19			
$S_i^{(2)}$	0,18	0,17	0,01	0,01	–0,04	0,67	0,67	–0,21	0,85		
Hom_i	0,24	–0,11	0,48	–0,65	–0,58	0,14	0,14	–0,22	0,08	0,25	
Sc_i	0,79	0,38	0,97	–0,89	–0,57	–0,11	–0,11	–0,76	–0,04	0,04	0,60

Примітка. Mean, Max, Min – середнє, максимальне та мінімальне значення врожайності відповідно, г/м^2; Cv – коефіцієнт варіації, %; b_i – коефіцієнт регресії; σ^2_i – варіанса стабільності; W_i – ековаленса; P_i – показник переваги сорту; $S_i^{(1)}$ і $S_i^{(2)}$ – непараметричні показники стабільності; Hom_i – показник гомеостатчності; Sc_i – селекційна цінність.

Кластерний аналіз на основі параметрів адаптивності

Щоб узагальнити результати аналізу за статистичними параметрами, було проведено кластеризацію 12 зразків із достовірно вищою, ніж у стандарту, врожайністю (рис. 1). Критеріями для кластеризації були рівень прояву врожайності та розглянуті вище статистичні параметри. З розрахунків виключили лише ековаленсу (W_i), оскільки, як зазначено раніше, вона мала функціональну відповідність (r = 1,00) із варіансою стабільності (σ^2_i). Можна спостерігати формування п'яти достатньо відмітних кластерів. Перший утворили зразки G58 'Merlo' (FRA) і G38 'МИР 12-9' (UKR), що були найвіддаленішими від інших; другий – G55 'Novosadski 737' (SRB) і G66 'Manitum' (FRA); третій – G70 'Radical / Pervenets' (SYR) і G62 'Matador' (FRA); четвертий – G53 'Novosadski 525' (SRB) і G49 'Scarpia' (DEU); п'ятий – G51 'Titus' (DEU), G18 'Снігова королева' (UKR), G17 'Академічний' (UKR), G40 'МИР 12-11' (UKR). Два останні кластери, як порівняти з трьома першими, були відносно ближчими один до одного. Результати цього аналізу підтверджують описані вище закономірності. Останні вказують на те, що навіть у межах групи зразків із достовірно вищою, ніж у стандарту, врожайністю виявлено відмінності за особливостями її рівня прояву в різні роки. Це знайшло своє відображення у значеннях показників окреслених статистичних параметрів адаптивності, а відтак і формування різних кластерів. З огляду на отримані результати, комбінування між собою як батьківських компонентів схрещування високопродуктивних зразків, що належать до різних кластерів, може мати вагоме практичне значення для створення вихідного матеріалу на підвищення врожайності та адаптивності в умовах Лісостепу України. Ще один практичний аспект, який дає підстави сподіватися на ефективне використання зазначених зразків у селекції, – їхня відмітність за країнами по-

ходження. Тому можливий комбінований підхід щодо добору батьківських компонентів: (1) за різною реакцією на умови років досліджень та (2) різних за походженням (еколого-географічний принцип).



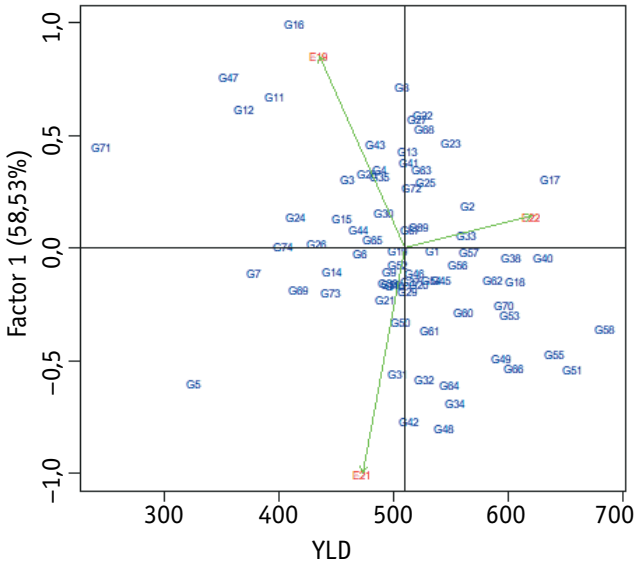
Примітка. G58 'Merlo' (FRA), G38 'МИР 12-9' (UKR), G51 'Titus' (DEU), G18 'Снігова королева' (UKR), G17 'Академічний' (UKR), G40 'МИР 12-11' (UKR), G53 'Novosadski 525' (SRB), G49 'Scarpia' (DEU), G70 'Radical / Pervenets' (SYR), G62 'Matador' (FRA), G55 'Novosadski 737' (SRB), G66 'Manitum' (FRA).

Рис. 1. Кластерний аналіз (метод Варда) колекційних зразків ячменю озимого за рівнем прояву врожайності та статистичними параметрами адаптивності) (2018/19, 2020/21, 2021/22 рр.)

AMMI аналіз

Виявлено достовірно високі частки внеску в дисперсію усіх трьох джерел варіації: умов року – 41,72%, генотипу – 37,20%, а також їхньої взаємодії – 21,15% (табл. 4). Отримані результати підтверджують наведене вище. А саме: попри певну перевагу частки впливу умов років досліджень, у наявній вибірці є зразки із суттєво різною реакцією за врожайністю на однакові умови. Тому можливо виокремити особини, які цікавлять селекціонера у процесі розв'язання різних селекційних завдань. Перші дві головні компоненти пояснювали 100% варіації взаємодії «генотип – рік»: Factor 1 – 58,53%, Factor 2 – 41,47%.

Відповідно до AMMI1 biplot (рис. 2), по осі врожайності (YLD) з-поміж інших зразків варто виділити G58 'Merlo' (FRA), G51 'Titus' (DEU), G55 'Novosadski 737' (SRB), G17 'Академічний' (UKR) і G40 'МИР 12-11' (UKR).



Примітка. Позначення років досліджень та зразків відповідно до наведених у таблиці 2.

Рис. 2. AMMI1 biplot – розподіл генотипів і середовищ у координатах: середня врожайність (YLD) – перша головна компонента (Factor 1) (2018/19, 2020/21, 2021/22 рр.)

Серед них дещо меншу середню врожайність мав G40 'МИР 12-11' (UKR), але він розташовувався найближче до нульової позначки відносно осі першої головної компоненти (Factor 1). Зразки G58 'Merlo' (FRA), G51 'Titus' (DEU) і G55 'Novosadski 737' (SRB) були сильніше зміщені по від'ємній осі, а G17 – по додатній.

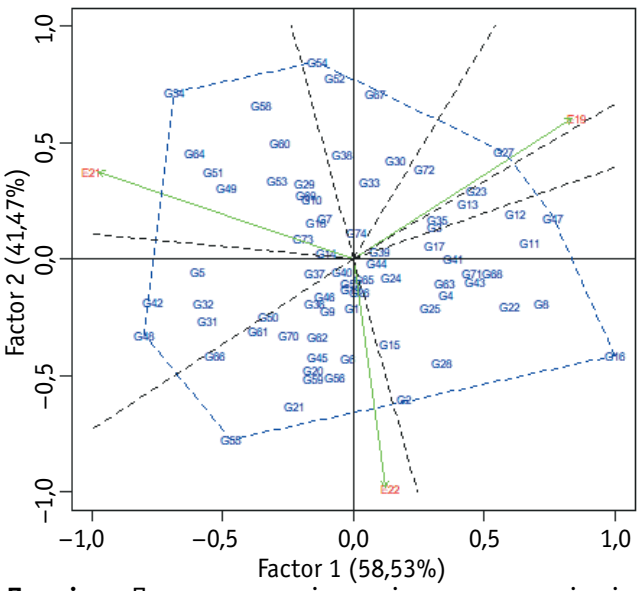
Специфічна реакція на умови років чітко простежується за аналізу AMMI2 biplot (рис. 3). Найбільш вираженою вона була у зразків, що потрапили до секторів, розділених пунктирними лініями, в яких також опинилися вектори років досліджень (E19, E21, E22).

Наприклад, на вершині полігону, у секторі з вектором E21 розташувався зразок G34

Таблиця 4

Дисперсійний аналіз AMMI моделі (тест Голоба) (2018/19, 2020/21, 2021/22 рр.)

Джерело варіації	Сума квадратів	Ступінь свободи	Середній квадрат	F-критерій	Частка внеску в дисперсію, %
Рік	4272360,73	2	2136180,37	2142,13	41,72
Генотип	3802476,90	73	52088,72	52,23	37,30
Взаємодія «генотип – рік»	2166064,82	146	14836,06	14,88	21,15
Головна компонента 1	1267719,23	74	17131,34	17,56	58,53
Головна компонента 2	898345,59	72	12477,02	12,79	41,47
Головна компонента 3	0,00	70	0,00	0,00	0,00
Залишки	442766,00	444	997,22	–	0,00



Примітка. Позначення років досліджень та зразків відповідно до наведених у таблиці 2.

Рис. 3. AMMI2 biplot – розподіл сортів і середовищ у координатах першої (Factor 1) та другої (Factor 2) головних компонент (2018/19, 2020/21, 2021/22 рр.)

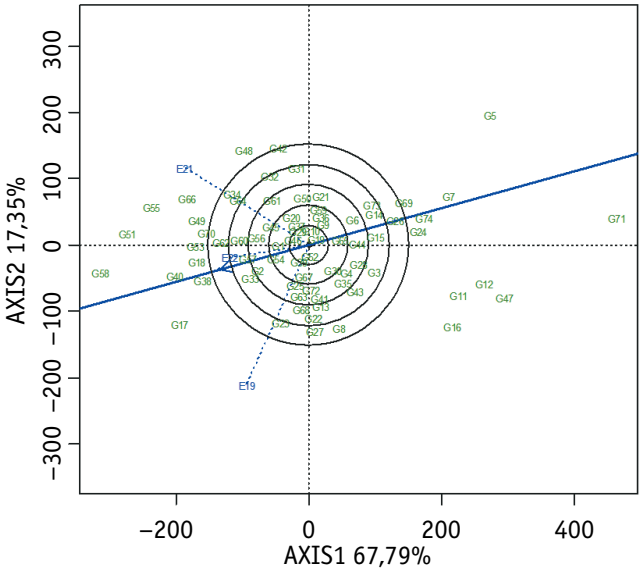
‘МИР 4790’ (UKR), який мав найсильнішу специфічну реакцію на умови 2020/21 р. До цього сектору «впали» також G58 ‘Merlo’ (FRA) та G51 ‘Titus’ (DEU). Зразок G55 ‘Novosadski 737’ (SRB) потрапив на вершину кута полігону, в сектор із вектором року E22, що свідчить про його сильну реакцію на умови 2021/22 р. Схарактеризований вище G40 ‘МИР 12-11’ (UKR) опинився максимально близько до центра biplot. Отже, його реакція на умови років досліджень була оптимальною, відповідно до значень обох головних компонент.

GGE biplot аналіз

Згідно з GGE biplot моделлю, перша (AXIS1) та друга (AXIS2) головні компоненти пояснювали 85,14% варіювання взаємодії «генотип – рік» – 67,79 та 17,35% відповідно. Це досить високий показник, але нижчий, як порівняти з AMMI аналізом. GGE biplot диференціювальної здатності та репрезентативності років досліджень (рис. 4) указує, що найвіддаленішими одне від одного за особливостями прояву врожайності зразків були умови 2018/19 (E19) і 2020/21 рр. (E21), які водночас мали сильнішу диференціальну здатність, порівнюючи з 2021/22 р. (E22). Останній був найближчим до середнього для середовищ вектору та розрахункового розташування оптимального середовища на ньому, позначеного вершиною стрілки.

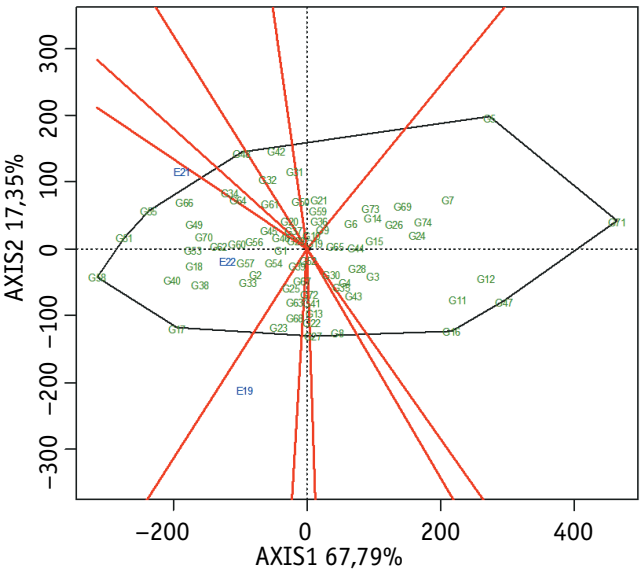
Відповідно до GGE biplot «котрий-де-переміг» (рис. 5), в одному секторі опинилися два роки досліджень – E21 (2020/21) та E22 (2021/22). На вершинах та лінії ломаної полігональної фігури розташувалися зразки G58 ‘Merlo’ (FRA), G51 ‘Titus’ (DEU), G55 ‘Novosadski 737’ (SRB) та G17 ‘Академічний’ (UKR). Проте останній був ближче до розмежувальної лінії із сектором, де містився 2018/19 р. (E19). Зразок G40 ‘МИР 12-11’ (UKR), як і низка інших, також опинився у цьому секторі, в середині полігону.

GGE biplot середньозваженої середовищної координації зразків за врожайністю та



Примітка. Позначення років досліджень та зразків відповідно до наведених у таблиці 2.

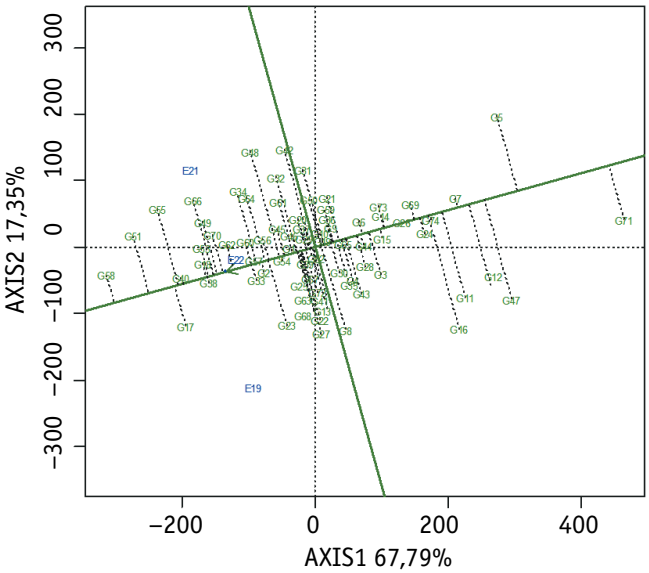
Рис. 4. GGE biplot диференціювальної здатності та репрезентативності років досліджень (2018/19, 2020/21, 2021/22 рр.)



Примітка. Позначення років досліджень та зразків відповідно до наведених у таблиці 2.

Рис. 5. GGE biplot «котрий-де-переміг» (2018/19, 2020/21, 2021/22 рр.)

стабільністю чітко демонструє п'ятірку лідерів: G58 'Merlo' (FRA), G51 'Titus' (DEU), G55 'Novosadski 737' (SRB), G17 'Академічний' (UKR) та G40 'МИР 12-11' (UKR) (рис. 6). На умови 2020/21 р. (E21) сильніше реагували перші три зразки, а 2018/19 р. (E19) – G17 'Академічний' (UKR). Водночас п'ятий зразок G40 'МИР 12-11' (UKR) мав оптимальну реакцію на умови різних років, а відтак переважав чотири інших за стабільністю. Це видно з його розташування майже на середньому для середовищ векторі. Абсолютні найгірші значення врожайності виразно простежуються у G71 '(IR 08287)' (SYR).

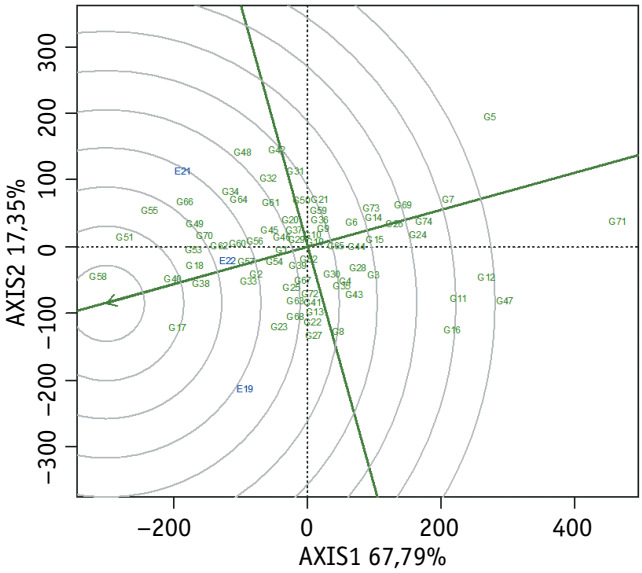


Примітка. Позначення років досліджень та зразків відповідно до наведених у таблиці 2.

Рис. 6. GGE biplot середньозваженої середовищної координації зразків за врожайністю та стабільністю (2018/19, 2020/21, 2021/22 рр.)

GGE biplot ранжуванням зразків відносно математично розрахункового «ідеального генотипу» виявлено, що найближчим до нього був G58 'Merlo' (FRA), розташований у центрі центричних кіл (рис. 7). До наступного кола потрапили зразки G40 'МИР 12-11' (UKR), G51 'Titus' (DEU), G17 'Академічний' (UKR), а до третього «впали» G38 'МИР 12-9' (UKR), G18 'Снігова королева' (UKR), G53 'Novosadski 525' (SRB), G55 'Novosadski 737'(SRB).

Тобто до перших трьох кіл належали лише ті зразки, що достовірно перевищували G1 'Жерар' (UKR) за середньою врожайністю відповідно до $HIP_{0,05.}$ До четвертого – зразки як з достовірною різницею зі стандартом [G62 'Matador' (FRA), G70 'Radical / Pervenets' (SYR), G49 'Scarpia' (DEU), G66 'Manitum' (FRA)], так і з переважанням над ним у межах рівня достовірності [G57 'Luran' (CZE),



Примітка. Позначення років досліджень та зразків відповідно до наведених у таблиці 2.

Рис. 7. GGE biplot ранжирування зразків відносно до «ідеального генотипу» (2018/19, 2020/21, 2021/22 рр.)

G60 'Baraka' (FRA), G33 'МИР 12-7' (UKR), G2 'Трудівник' (UKR)]. Сам G1 'Жерар' (UKR) розташувався у п'ятому колі разом зі зразками, які мали недостовірно вищу [G56 'Okal' (CZE), G34 'МИР 4790' (UKR), G23 'МИР 4867' (UKR), G64 'Cindy' (FRA), G48 'Augusta' (DEU), G45 'МИР 13/1' (UKR)] або нижчу, ніж у нього, врожайність.

Висновки

Виокремлено 12 колекційних зразків відмітного за походженням ячменю озимого, які мають підвищений рівень урожайності та є цінними генетичними джерелами для використання в селекції в умовах Лісостепу України. Зокрема, 'Merlo' (FRA), 'МИР 12-11' (UKR), 'Titus' (DEU), 'Академічний' (UKR), 'МИР 12-9' (UKR), 'Снігова королева' (UKR), 'Novosadski 525' (SRB), 'Novosadski 737' (SRB), 'Matador' (FRA), 'Radical / Pervenets' (SYR), 'Scarpia' (DEU), 'Manitum' (FRA). Втім навіть у виділеній групі зразки відрізнялися особливостями реакції за рівнем прояву врожайності на різноманітні умови років досліджень. Це було схарактеризовано як статистичними параметрами та кластерним аналізом, так і візуалізаціями графічних моделей AMMI та GGE biplot. Отже, комбінування між собою як батьківських компонентів схрещування вказаних високопродуктивних зразків, що належать до відмітних кластерів, сформованих на основі особливостей рівня прояву врожайності в різні роки, і, відповідно, різних значень статистичних параметрів адаптивності, доповнене

еколого-географічним принципом, матиме вагоме практичне значення для створення вихідного матеріалу на підвищення врожайності та адаптивності в умовах Лісостепу України.

References

1. Jiang, C., Kan, J., Gao, G., Dockter, C., Li, C., Wu, W., Yang, P., & Stein, N. (2025). Barley2035: A decadal vision for barley research and breeding. *Molecular Plant*, *18*(2), 195–218. https://doi.org/10.1016/j.molp.2024.12.009
2. Yigit, A., & Chmielewski, F.-M. (2024). A deeper insight into the yield formation of winter and spring barley in relation to weather and climate variability. *Agronomy*, *14*(7), Article 1503. https://doi.org/10.3390/agronomy14071503
3. Mittermayer, M., Maidl, F.-X., Donauer, J., Kimmelmann, S., Liebl, J., & Hülsbergen, K.-J. (2025). Optimizing nitrogen use efficiency and yield in winter barley: a three-year study of fertilization systems in southern Germany. *Applied Sciences*, *15*(1), Article 391. https://doi.org/10.3390/app15010391
4. Heil, K., Gerl, S., & Schmidhalter, U. (2021). Sensitivity of winter barley yield to climate variability in a Pleistocene loess area. *Climate*, *9*(7), Article 112. https://doi.org/10.3390/cli9070112
5. Hudzenko, V. M. (2018). Yield and stability of Myronivka winter barley varieties. *Plant Breeding and Seed Production*, *113*, 55–77. https://doi.org/10.30835/2413-7510.2018.134358 [In Ukrainian]
6. Laidig, F., Piepho, H. P., Rentel, D., Drobek, T., & Meyer, U. (2017). Breeding progress, genotypic and environmental variation and correlation of quality traits in malting barley in German official variety trials between 1983 and 2015. *Theoretical and Applied Genetics*, *130*(11), 2411–2429. https://doi.org/10.1007/s00122-017-2967-4
7. Laidig, F., Feike, T., Klocke, B. Macholdt, J., Miedaner, T., Rentel, D., & Piepho, H. P. (2021). Long-term 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. https://doi.org/10.1007/s00122-021-03929-5
8. Kyrychenko, V. V., Vasko, N. I., Leonov, O. Yu., Shchypak, H. V., Suvorova, K. Yu., & Morhun, O. V. (2022). Current strategy of cereal breeding. *Plant Breeding and Seed Production*, *122*, 100–112. https://doi.org/10.30835/2413-7510.2022.271759
9. Rodrigues, O., Minella, E., & Costenaro, E. R. (2020). Genetic improvement of barley (*Hordeum vulgare* L.) in Brazil: yield increase and associated traits. *Agricultural Sciences*, *11*(04), 425–438. https://doi.org/10.4236/as.2020.114025
10. Rodrigues, O., Minella, E., Costenaro, E. R., Scariotto, S., & Marchese, J. A. (2022). Improvement in Brazilian barley breeding: changes in developmental phases and ecophysiological traits. *Frontiers in Plant Science*, *13*, Article 1032243. https://doi.org/10.3389/fpls.2022.1032243
11. Laidig, F., Feike, T., Hadasch, S., Rentel, D., Klocke, B., Miedaner, T., & Piepho, H. P. (2021). 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. https://doi.org/10.1007/s00122-020-03728-4
12. 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), Article 20374. https://doi.org/10.1038/s41598-020-77200-0
13. Muñoz-Amatriaín, M., Hernandez, J., Herb, D., Baenziger, P. S., Bochard, A. M., Capettini, F., Casas, A., Cuesta-Marcos, A., Einfeldt, C., Fisk, S., Genty, A., Helgerson, L., Herz, M., Hu, G., Igartua, E., Karsai, I., Nakamura, T., Sato, K., Smith, K., … Hayes, P. (2020). Perspectives on low temperature tolerance and vernalization sensitivity in barley: prospects for facultative growth habit. *Frontiers in Plant Science*, *11*, Article 585927. https://doi.org/10.3389/fpls.2020.585927
14. Wójcik-Jagła, M., Daszkowska-Golec, A., Fiust, A., Kopec, P., & Rapacz, M. (2021). Identification of the genetic basis of response to de-acclimation in winter barley. *International Journal of Molecular Sciences*, *22*(3), Article 1057. https://doi.org/10.3390/ijms22031057
15. Wójcik-Jagła, M., & Rapacz, M. (2023). Freezing tolerance and tolerance to de-acclimation of European accessions of winter and facultative barley. *Scientific Reports*, *13*(1), Article 19931. https://doi.org/10.1038/s41598-023-47318-y
16. Thabet, S. G., Moursi, Y. S., Karam, M. A., Börner, A., & Alqudah, A. M. (2020). Natural variation uncovers candidate genes for barley spikelet number and grain yield under drought stress. *Genes*, *11*(5), Article 533. https://doi.org/10.3390/genes11050533
17. Slawin, C., Ajayi, O., & Mahalingam, R. (2024). Association mapping unravels the genetic basis for drought related traits in different developmental stages of barley. *Scientific Reports*, *14*(1), Article 25121. https://doi.org/10.1038/s41598-024-73618-y
18. Sapkota, S., Mndolwa, E., Hu, G., Fiedler, J., Nandety, S. R., Carlson, C. H., & Klos, K. E. (2025). Association mapping of drought stress response for yield and quality traits in barley. *Crop Science*, *65*(1), Article e21431. https://doi.org/10.1002/csc2.21431
19. Bai, Y., Zhao, X., Yao, X., Yao, Y., Li, X., Hou, L., An, L., Wu, K., & Wang, Z. (2023). Comparative transcriptome analysis of major lodging resistant factors in hulless barley. *Frontiers in Plant Science*, *14*, Article 1230792. https://doi.org/10.3389/fpls.2023.1230792
20. Guo, J., Zhao, C., Gupta, S., Platz, G., Snyman, L., & Zhou, M. (2024). Genome-wide association mapping for seedling and adult resistance to powdery mildew in barley. *Theoretical and Applied Genetics*, *137*(3), Article 50. https://doi.org/10.1007/s00122-024-04550-y
21. Backes, A., Guerriero, G., Ait Barka, E., & Jacquard, C. (2021). *Pyrenophora teres*: taxonomy, morphology, interaction with barley, and mode of control. *Frontiers Plant Science*, *12*, Article 614951. https://doi.org/10.3389/fpls.2021.614951
22. Basak, P., Gurjar, M. S., Kumar, T. P. J., Kashyap, N., Singh, D., Jha, S. K., & Saharan, M. S. (2024). Transcriptome analysis of *Bipolaris sorokiniana – Hordeum vulgare* provides insights into mechanisms of host-pathogen interaction. *Frontiers in Microbiology*, *15*, Article 1360571. https://doi.org/10.3389/fmicb.2024.1360571
23. Salgotra, R. K., & Chauhan, B. S. (2023). Genetic diversity, conservation, and utilization of plant genetic resources. *Genes*, *14*(1), Article 174. https://doi.org/10.3390/genes14010174
24. Dempewolfa, H., Krishnana, S., & Guarinoa, L. (2023). Our shared global responsibility: safeguarding crop diversity for future generations. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, *120*(14), Article e2205768119. https://doi.org/10.1073/pnas.2205768119
25. Ebert, A. W., Engels, J. M. M., Schafleitner, R., van Hintum, T., & Mwila, G. (2023). Critical review of the increasing complexity of access and benefit-sharing policies of genetic resources for genebank curators and plant breeders – a public and private sector perspective. *Plants*, *12*(16), Article 2992. https://doi.org/10.3390/plants12162992
26. Riabchun, V. K., Kuzmyshyna, N. V., & Bohuslavskyi, R. L. (2022). State of national plant genebank of Ukraine in wartime of 2022. *Plant Genetic Resources*, *30*, 1–21. https://doi.org/10.36814/pgr.2022.30.01 [In Ukrainian]
27. Galluzzi, G., Seyoum, A., Halewood, M., Noriega, I. L., & Welch, E. W. (2020). The role of genetic resources in breeding for climate change: the case of public breeding programmes in eighteen developing countries. *Plants*, *9*(9), Article 1129. https://doi.org/10.3390/plants9091129
28. Cortés, A. J., & López-Hernández, F. (2021). Harnessing crop wild diversity for climate change adaptation. *Genes*, *12*(5), Article 783. https://doi.org/10.3390/genes12050783

29. Monteiro, V. A., Amabile, R. F., Spehar, C. R., Faleiro, F. G., Vieira, E. A., Peixoto, J. R., Junior, W. Q. R., & Montalvão, A. P. L. (2020). Genetic diversity among 435 barley accessions based in morpho-agronomical characteristics under irrigation in the Brazilian savannah. *Australian Journal of Crop Science*, *14*(9), 1385–1393. https://doi.org/10.21475/ajcs.20.14.09.p2281
30. Czembor, J. H. (2023). Barley genetic resources: advancing conservation and applications for breeding. *Agronomy*, *13*(12), Article 2901. https://doi.org/10.3390/agronomy13122901
31. Bernád, V., Al-Tamimi, N., Langan, P., Gillespie, G., Dempsey, T., Henchy, J., Harty, M., Ramsay, L., Houston, K., Macaulay, M., Shaw, P. D., Raubach, S., Mcdonnel, K. P., Russell, J., Waugh, R., Khodaeiaminjan, M., & Negrão, S. (2024). Unlocking the genetic diversity and population structure of the newly introduced two-row spring European HerItage barley collecTion (ExHIBiT). *Frontiers in Plant Science*, *15*, Article 1268847. https://doi.org/10.3389/fpls.2024.1268847
32. Kostrzewska, M. K., & Jastrzebska, M. (2024). Exploiting the yield potential of spring barley in Poland: the roles of crop rotation, cultivar, and plant protection. *Agriculture*, *14*(8), Article 1355. https://doi.org/10.3390/agriculture14081355
33. Bai, Y., Zhao, X., Yao, X., Yao, Y., An, L., Li, X., Wang, Y., Gao, X., Jia, Y., Guan, L., Li, M., Wu, K., & Wang, Z. (2021). Genome wide association study of plant height and tiller number in hulless barley. *PLoS One*, *16*(12), Article e0260723. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0260723
34. Gasparis, S., & Miłoszewski, M. M. (2023). Genetic basis of grain size and weight in rice, wheat, and barley. *International Journal of Molecular Sciences*, *24*(23), Article 16921. https://doi.org/10.3390/ijms242316921
35. Thirulogachandar, V., & Schnurbusch, T. (2021). 'Spikelet stop' determines the maximum yield potential stage in barley. *Journal of Experimental Botany*, *72*(22), 7743–7753. https://doi.org/10.1093/jxb/erab342
36. Lenartowicz, T., Bujak, H., Przystalski, M., Piecuch, K., Jnczyk, K., & Feledyn-Szewczyk, B. (2024). Yield stability and adaptability of spring barley (*Hordeum vulgare*) varieties in Polish organic field trials. *Agronomy*, *14*(9), Article 1963. https://doi.org/10.3390/agronomy14091963
37. Kulheri, A., Rajput, S. S., Punia, S. S., & Jakhar, K. (2024). Stability analysis in six-row barley genotypes for grain yield in multi-environmental trails using Eberhart and Russel (1966). *International Journal of Environment and Climate Change*, *14*(7), 10–15. https://doi.org/10.9734/ijecc/2024/v14i74247
38. Elakhdar, A., El-Naggar, A. A., El-Wakeell, S., & Ahmed, A. H. (2025). Integrating univariate and multivariate stability indices for breeding clime-resilient barley cultivars. *BMC Plant Biology*, *25*(1), Article 76. https://doi.org/10.1186/s12870-024-05530-6
39. Anshori, M. F., Musa, Y., Farid, M., Jayadi, M., Padjung, R., Kaimuddin, K., Huang, Y. C., Casimero, M., Bogayong, I., Suwarno, W. B., Sembiring, H., Purwoko, B. S., Nur, A., Wahyuni, W., Wasonga, D. O., & Seleiman, M. F. (2024). A comprehensive multivariate approach for G×E interaction analysis in early maturing rice varieties. *Frontiers in Plant Science*, *15*, Article 1462981. https://doi.org/10.3389/fpls.2024.1462981
40. Wang, R., Wang, H., Huang, S., Zhao, Y., Chen, E., Li, F., Qin, L., Yang, Y., Guan, Y., Liu, B., & Zhang, H. (2023). Assessment of yield performances for grain sorghum varieties by AMMI and GGE biplot analyses. *Frontiers in Plant Science*, *14*, Article 1261323. https://doi.org/10.3389/fpls.2023.1261323
41. Demelash, H. (2024). Genotype by environment interaction, AMMI, GGE biplot, and mega environment analysis of elite *Sorghum bicolor* (L.) Moench genotypes in humid lowland areas of Ethiopia. *Heliyon*, *10*(5), Article e26528. https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e26528
42. Wondaferew, D., Mullualem, D., Bitewlgn, W., Kassa, Z., Abebaw, Y., Ali, H., Kebede, K., & Astatkie, T. (2024). Cultivating sustainable futures: multi-environment evaluation and seed yield stability of faba bean (*Vicia faba* L.) genotypes by using different stability parameters in Ethiopia. *BMC Plant Biology*, *24*(1), Article 1108. https://doi.org/10.1186/s12870-024-05829-4
43. Esan, V. I., Oke, G. O., Ogunbode, T. O., & Obisesan, I. A. (2023). AMMI and GGE biplot analyses of Bambara groundnut [*Vigna subterranea* (L.) Verdc.] for agronomic performances under three environmental conditions. *Frontiers in Plant Science*, *13*, Article 997429. https://doi.org/10.3389/fpls.2022.997429
44. Mekonnen, B., & Gurmu, F. (2024). Evaluation of the performance and stability of early maturing orange-fleshed sweet potato genotypes in selected areas in Ethiopia. *PLoS ONE*, *19*(10), Article e0310273. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0310273
45. Nagrale, S. C., Sakhare, S. B., Nichal, S. S., Yadirwar, P. V., Tayade, N. R., & Verma, L. K. (2023). Stability and G×E interaction study in sunflower (*Helianthus annuus* L.) for diverse environments. *Electronic Journal of Plant Breeding*, *14*(2), 601–607. https://doi.org/10.37992/2023.1402.077
46. Sadhu, S., Chakraborty, M., Roy, S. K., Mondal, A., & Dey, S. (2024). Stability analysis on elite genotypes of Indian Mustard (*Brassica juncea* L.) in Terai agro-climatic region. *Electronic Journal of Plant Breeding*, *15*(3), 660–670. https://doi.org/10.37992/2024.1503.084
47. Bomma, N., Shruthi, H. B., Soregaon, C. D., Gaddameedi, A., Suma, K., Pranati, J., Chandappa, L. H., Patil, D. K., Kumar, N., Sandeep, S., Vemula, A., & Gangashetty, P. I. (2024). Multi-environment testing for G×E interactions and identification of high-yielding, stable, medium-duration pigeonpea genotypes employing AMMI, GGE biplot, and YREM analyses. *Frontiers in Plant Science*, *15*, Article 1396826. https://doi.org/10.3389/fpls.2024.1396826
48. Azon, C. F., Fassinou Hotegni, V. N., Sogbohossou, D. E. O., Gnanglè, L. S., Bodjrenou, G., Adjé, C. O., Dossa, K., Agbangla, C., Quenum, F. J. B., & Achigan-Dako, E. G. (2023). Genotype × environment interaction and stability analysis for seed yield and yield components in sesame (*Sesamum indicum* L.) in Benin Republic using AMMI, GGE biplot and MTSI. *Heliyon*, *9*(11), Article e21656. https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e21656
49. Jayalakshmi, V., Laxuman, C., Patil, M. D., Ramadevi, S., & Reddy, A. L. (2024). Stability analysis for yield and yield related traits in advance breeding lines of chickpea (*Cicer arietinum* L.). *Electronic Journal of Plant Breeding*, *15*(1), 132–137. https://doi.org/10.37992/2024.1501.022
50. Eberhart, S. A., & Russel, W. A. (1966). Stability parameters for comparing varieties. *Crop Science*, *6*(1), 36–40. https://doi.org/10.2135/cropsci1966.0011183X000600010011x
51. Wricke, G. (1962). Über eine Methode zur Erfassung der ökologischen Streubreite in Feldversuchen. *Zeitschrift für Pflanzenzüchtung*, *47*, 92–96.
52. Lin, C. S., & Binns, M. R. (1988). A superiority measure of cultivar performance for cultivar × location data. *Canadian Journal of Plant Science*, *68*(1), 193–198. https://doi.org/10.4141/cjps88-018
53. Huehn, M. (1990). Nonparametric measures of phenotypic stability. Part 1: Theory. *Euphytica*, *47*(3), 189–194. https://doi.org/10.1007/BF00024241
54. Hudzenko, V. M., Buniak, N. M., Tsentylo, L. V., Demydov, O. A., Fedorenko, I. V., Fedorenko, M. V., Ishchenko, V. A., Kozelets, H. M., Khudolii, L. V., Lashuk, S. O., & Syplyva, N. O. (2022). Evaluation of grain yield performance and its stability in various spring barley accessions under condition of different agroclimatic zones of Ukraine. *Biosystems Diversity*, *30*(4), 406–422. https://doi.org/10.15421/012240
55. Frutos, E., Galindo, M. P., & Leiva, V. (2014). An interactive biplot implementation in R for modeling genotype-by-environment interaction. *Stochastic Environmental Research and Risk Assessment*, *28*(7), 1629–1641. https://doi.org/10.1007/s00477-013-0821-z
56. Yan, W., & Tinker, N. A. (2006). Biplot analysis of multi-environment trial data: principles and applications. *Canadian Journal*

of Plant Science, *86*(3), 623–645. https://doi.org/10.4141/P05-169

57. Yan, W., Kang, M. S., Ma, B., Woods, S., & Cornelius, P. L. (2007). GGE biplot vs. AMMI analysis of genotype-by-environment data. *Crop Science*, *47*(2), 641–653. https://doi.org/10.2135/cropsci2006.06.0374
58. Gauch, H. G., Piepo, H.-P., & Annicchiarico, P. (2008). Statistical analysis of yield trials by AMMI and GGE: Further consideration. *Crop Science*, *48*(3), 866–889. https://doi.org/10.2135/cropsci2007.09.0513

UDC 633.16:631.527:581.1(477.41/.42)

Hudzenko, V. M.[1,2*], Lysenko, A. A.[3], Polishchuk, T. P.[4], Buniak, N. M.[1], Kuzmenko, Ye. A.[4], Yurchenko, T. V.[4], Khudolii, L. V.[2], & **Kokhovska, I. V.[2]** (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. https://doi.org/10.21498/2518-1017.21.1.2025.327499

[1]*Nosivka Plant Breeding and Experimental Station of the V. M. Remeslo Myronivka Institute of Wheat of the NAAS of Ukraine, 1 Myru St., Doslidne village, Nosivka district, Chernihiv region, 17131, Ukraine, *e-mail: barley22@ukr.net*

[2]*Ukrainian Institute for Plant Variety Examination, 15 Horikhuvatskyi Shliakh St., Kyiv, 03041, Ukraine*

[3]*"Kyiv-Atlantic Ukraine" LLC, 8 Stepova St., Myronivka, Obukhiv district, Kyiv region, 08800, Ukraine*

[4]*The V. M. Remeslo Myronivka Institute of Wheat of the NAAS of Ukraine, 68 Tsentralna St., Tsentralne village, Obukhiv district, Kyiv region, 08853, Ukraine*

Purpose. To determine the peculiarities of the level of manifestation and yield variability of winter barley accessions, and to identify genetic sources for breeding in the Ukrainian Forest-Steppe. **Methods.** The research was conducted at the V. M. Remeslo Myronivka Institute of Wheat of NAAS in 2018/19, 2020/21 and 2021/22. A total of 74 spring barley samples of different origins were used for the research. The interaction "genotype × year" was determined and the accessions characterized using the statistical parameters of adaptability and graphical models AMMI and GGE biplot. The latter were then grouped using cluster analysis. Analysis of variance and correlation analyses were used to determine the level of reliability in the experiment and the relationship between the adaptability parameters, respectively. **Results.** Significant variability in yield was found both between years of the study (from 436 g/m^2 in 2018/19 to 621 g/m^2 in 2021/22) and between accessions within a year (2018/19 – from 625 to 171 g/m^2, 2020/21 – from 738 to 138 g/m^2, 2021/22 – from 855 to 374 g/m^2). According to the AMMI model, statistically high shares of contribution to the total phenotypic variation were found for all its sources: year (41.72%), genotype (37.30%), and "genotype × year" interaction (21.15%). The first two principal components of this model covered 100% of the "genotype × year" variation, while the GGE biplot covered 85.14%. There were 12 accessions of winter barley of different origin ['Merlo' (FRA), 'MIR 12-11' (UKR), 'Titus' (DEU), 'Akademichnyi' (UKR), 'MIR 12-9' (UKR), 'Snihova koroleva' (UKR), 'Novosadski 525' (SRB), 'Novosadski 737' (SRB), 'Matador' (FRA), 'Radical / Pervenets' (SYR), 'Scarpia' (DEU), 'Manitum' (FRA)], which had significantly higher yields than the standard 'Zherar' (UKR) (587–685 g/m^2 vs. 534 g/m^2). However, even among them, the level of the latter showed different reactions to the conditions of particular years. This was reflected in different values of statistical parameters of adaptability and graphical distribution of accessions in the coordinates of the principal components of the AMMI and GGE biplot models. Based on the yield variation limits and statistical parameters of adaptability, the selected accessions were divided into five distinct clusters. **Conclusions.** The combination of high-yielding accessions from different clusters as the parental components of crosses, in accordance with ecological and geographical principles, will be of great practical importance in creating source material to increase winter barley yields and adaptability in Ukrainian Forest-Steppe region.

Keywords: *Hordeum vulgare L.; statistical parameter of adaptability; AMMI; GGE biplot; correlation; cluster analysis.*

Надійшла / Received 04.03.2025
Погоджено до друку / Accepted 28.03.2025