

## Статистична та АММІ оцінка стабільності селекційних ліній ячменю ярого в багатосередовищних випробуваннях

В. М. Гудзенко<sup>1\*</sup>, О. А. Демидов<sup>1</sup>, Т. П. Поліщук<sup>1</sup>, М. О. Сардак<sup>2</sup>, В. А. Іщенко<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Миронівський інститут пшениці ім. В. М. Ремесла НААН України, вул. Центральна, 68, с. Центральне, Миронівський р-н, Київська обл., 08853, Україна, \*e-mail: barley22@ukr.net

<sup>2</sup>Носівська селекційно-дослідна станція Миронівського інституту пшениці ім. В. М. Ремесла НААН України, вул. Миру, 1, с. Дослідне, Носівський р-н, Чернігівська обл., 17131, Україна

<sup>3</sup>Інститут сільського господарства Степу НААН України, вул. Центральна, 2, Кіровоградський р-н, Кіровоградська обл., 27602, Україна

**Мета.** Оцінити взаємодію генотип–середовище та виділити селекційні лінії ячменю ярого з поєднанням потенціалу врожайності та стабільності в багатосередовищних випробуваннях. **Методи.** Дванадцять селекційних ліній ячменю ярого і стандарт сорт 'Взірець' досліджували у трьох різних екологічних зонах України: Центральний Лісостеп, Полісся та Північний Степ. Для характеристики взаємодії генотип–середовище та диференціації селекційних ліній за врожайністю і стабільністю використали низку найбільш поширених підходів: S. A. Eberhart, W. A. Russel (1966); G. Wricke (1962); C. S. Lin, M. R. Binns (1988); M. Huehn (1990); A. В. Кільчевський, Л. В. Хотильова (1985); В. В. Хангільдин, М. А. Литвиненко (1981); J. L. Purchase et al. (2000). Графічний аналіз проводили з використанням АММІ моделі. **Результати.** Виявлена сильна мінливість врожайності селекційних ліній, яка зумовлювалась як екологічними, так і погодними умовами років досліджень. Дисперсійним аналізом виявлено достовірні вклади у варіацію генотипу, середовища та їх взаємодії. Частка умов середовища суттєво переважала інші – 93,17%. Визначена кореляція між врожайністю та окремими показниками стабільності. Низка параметрів оцінює тільки стабільність без урахування рівня врожайності. Інші параметри досить сильно пов'язані з середнім рівнем врожайності, або максимальним чи мінімальним її значенням. Виділені селекційні лінії 'Нутанс 5152', 'Нутанс 4982', 'Нутанс 5069' та 'Нутанс 5093' з оптимальним поєднанням потенціалу врожайності та стабільності. Дані лінії передані до Українського інституту експертизи сортів рослин для проведення кваліфікаційної експертизи як нові сорти ячменю ярого 'МІП Шарм', 'МІП Девіз', 'МІП Титул' та 'МІП Захисник', відповідно. Низка селекційних ліній може бути використана в гібридизації як джерело підвищеного адаптивного потенціалу для відповідних екологічних зон: Полісся – 'Нутанс 5061', Полісся та Лісостепу – 'Нутанс 5081' та 'Нутанс 4966', Північного Степу – 'Дефіцієнс 5145'. **Висновки.** Проведення багатосередовищних екологічних випробувань та аналіз експериментальних даних поєднуючи статистичні показники і АММІ сприяє поглибленій оцінці взаємодії генотип–середовище та виділенню кращих з кращих генотипів на завершальних етапах селекційної роботи.

**Ключові слова:** ячмінь ярий; селекційні лінії; багатосередовищні випробування; взаємодія генотип–середовище; врожайність; стабільність; АММІ.

### Вступ

Незалежно від напрямів використання зерна загальними аспектами селекції сьогодення є підвищення адаптивності сільськогосподарських рослин. У даному аспекті мова йде про

здатність формувати достатній рівень продуктивності в певних екологічних умовах за дії несприятливих чинників [1]. Однією з центральних проблем у селекційній роботі на підвищення та стабілізацію врожайності є взаємодія генотип–середовище [2]. Взаємодія генотип–середовище є часткою фенотипової варіації, яка виникає внаслідок невідповідності

Volodymyr Hudzenko  
<https://orcid.org/0000-0002-9738-1203>

Oleksandr Demydov  
<https://orcid.org/0000-0002-5715-2908>

Tetiana Polishchuk  
<https://orcid.org/0000-0001-9358-9181>

Nikolay Sardak  
<https://orcid.org/0000-0001-9417-3188>

Vitalii Ischenko  
<https://orcid.org/0000-0002-7640-5659>

генетичних та негенетичних ефектів. Тобто при дослідженні генотипів у різних умовах відбувається зміна рангів прояву ознаки у зв'язку з реакцією генотипів на середовище. Це призводить до того, що добір генотипів в одних умовах може не забезпечувати перевагу цих генотипів у інших умовах [3].

М. Malosetti та ін. [4] зазначають, що фенотиповий рівень прояву ознаки є результатом численних взаємодій генетичних систем рослинного організму та зовнішніх умов. Геноти́пи відрізняються за здатністю та ефективністю засвоювати та конвертувати ресурси середовищ у біомасу органів які складають кінцевий продукт – фенотип. Це значною мірою залежить від специфічного набору алелів генів. У свою чергу середовища відрізняються низкою чинників: поживним, водним, повітряним, радіаційним режимами. Головна задача селекції – максимально поєднати генотип та середовища таким чином, щоб отримати бажаний фенотип. Геноти́пи, які забезпечують відносно стабільний рівень фенотипового прояву ознак у низці різних середовищ характеризуються як геноти́пи з широкою адаптацією. Геноти́пи, які переважають інші лише в певних середовищах – специфічно адаптовані. Власне специфічна адаптація генотипів і є тісно пов'язаною з феноменом взаємодія генотип–середовище.

Для виявлення взаємодії генотип–середовище та виділення стабільних за врожайністю генотипів ефективними є багатосередовищні випробування в різних екологічних умовах [5, 6]. З метою об'єктивної інтерпретації отриманих експериментальних даних багатосередовищних випробувань необхідне застосування найбільш ефективних статистичних моделей. F. A. van Eeuwijk та ін. [7] зазначають, що якісний аналіз взаємодії генотип–середовище лежить в основі прогресу будь-якої селекційної програми.

А. В. Кільчевський, Л. В. Хотильова [3] відмічають, що загалом на сьогодні не існує браку статистичних підходів щодо оцінки взаємодії генотип–середовище. Основне завдання полягає в їх ефективному застосуванні в різних ланках селекційного процесу для отримання оперативної інформації щодо генотипів і середовищ та спрямоване на підвищення ефективності відбору форм з відповідними екологічними параметрами (загальною чи специфічною адаптивністю).

Низка названих параметрів успішно застосовується для оцінки взаємодії генотип–середовище та виділення стабільних за врожайністю генотипів ячменю в умовах Болгарії [8], Індії [9], Ірану [10–12], Туреччини [13].

В Україні, в умовах недостатнього зволоження північної підзони Степу, В. В. Ващенком та О. О. Шевченко досліджена адаптивна здатність генотипів ячменю ярого та диференціююча здатність різних років досліджень [14–17]. У Карпатському регіоні оцінена адаптивність сортів ячменю ярого А. Я. Марухняком [18]. В умовах підкислених ґрунтів Інституту кормів та сільського господарства Поділля НААН пластичність та стабільність вивчав О. Б. Маренюк [19]. У східній частині України групою вчених Інституту рослинництва ім. В. Я. Юр'єва НААН проведена низка досліджень щодо визначення адаптивного потенціалу ячменю ярого з використанням різних методик [20–23].

Останніми роками для оцінки взаємодії генотип–середовище та виділення стабільних генотипів набули поширення графічні моделі, зокрема АММІ (additive main effects and multiplicative interaction) модель [24–28]. АММІ є комбінацією двофакторного дисперсійного аналізу та biplot [29]. Biplot запропонований в 1971 р. K. R. Gabriel [30]. Математично biplot можна охарактеризувати як графічне відображення матричної мультиплікації [31].

*Мета досліджень* – оцінити взаємодію генотип–середовище та виділити селекційні лінії ячменю ярого з поєднанням потенціалу врожайності та стабільності в багатосередовищних випробуваннях.

### Матеріали та методика досліджень

Досліджували дванадцять селекційних ліній ячменю ярого і сорт-стандарт 'Взірець'. Селекційні лінії виділені за комплексом ознак у конкурсному випробуванні Миронівського інституту пшениці імені В. М. Ремесла НААН в 2016 р. У 2017–2018 рр. дослідження проводили в трьох установах Національної академії аграрних наук України, які розміщені в різних екологічних зонах України та характеризуються різними ґрунтовими та метеорологічними чинниками:

1) Миронівський інститут пшениці імені В. М. Ремесла НААН (МПП) (Центральний Лісостеп, географічні координати: широта – 49°64', довгота – 31°08', висота – 153 м). Ґрунт – чорнозем глибокий, малогумусний, слабко вилугуваний. Вміст гумусу – 3,8%, лужно-гідролізованого азоту – 5,9 мг/100 г, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> – 22,1 мг/100 г, K<sub>2</sub>O – 9,6 мг/100 г, рН – 5,8.

2) Носівська селекційно-дослідна станція МПП ім. В. М. Ремесла НААН (НСДС) (Полісся, географічні координати: широта – 50°93', довгота – 31°69', висота – 126 м). Ґрунт – чорнозем типовий, малогумусний, вилугуваний. Вміст гумусу – 2,6%, азоту – 8,5 мг/100 г, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> – 12,2 мг/100 г, K<sub>2</sub>O – 7,5 мг/100 г, рН – 4,6.

3) Інститут сільського господарства Степу НААН (ІСГС) (Північний Степ, географічні координати: широта – 48°56', довгота – 32°32', висота – 171 м). Ґрунт – чорнозем глибокий, середньогумусний, важкосуглинковий. Вміст гумусу – 4,6%, азоту – 12,0 мг/100 г, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> –

11,6 мг/100 г, K<sub>2</sub>O – 11,8 мг/100 г, рН – 5,4. Метеорологічні умови досліджень суттєво різнилися між екологічними точками та за роками досліджень (табл. 1). Контрастні екологічні та метеорологічні умови досліджень сприяли детальній оцінці селекційних ліній.

Таблиця 1

## Метеорологічні умови проведення досліджень

Рік	Шифр	Середньодобова температура, °С				Сума опадів за місяць, мм			
		IV*	V	VI	VII	IV	V	VI	VII
Миронівський інститут пшениці імені В. М. Ремесла НААН									
2016	M16	12,4	15,2	20,1	22,2	55,4	91,7	68,6	19,1
2017	M17	10,4	15,4	20,6	21,0	42,7	23,6	20,1	101,8
2018	M18	13,3	18,4	20,2	20,9	21,1	33,3	95,0	74,8
Багаторічне		8,8	15,0	18,0	19,7	42,1	51,2	85,2	86,5
Носівська селекційно-дослідна станція МІП ім. В. М. Ремесла НААН									
2017	N17	9,5	13,9	18,6	19,1	35,4	44,3	33,0	109,3
2018	N18	11,4	17,5	19,2	20,3	2,0	31,0	64,0	81,0
Багаторічне		7,9	15,0	18,4	20,2	35,6	45,1	64,5	73,0
Інститут сільського господарства Степу НААН									
2017	K17	10,9	17,6	23,1	23,2	23,5	10,7	22,2	66,0
2018	K18	15,0	20,8	22,9	23,7	10,0	25,5	29,2	141,0
Багаторічне		8,9	15,3	18,6	20,0	36,0	45,0	66,0	72,0

\*Місяці: IV – квітень, V – травень, VI – червень, VII – липень.

Для характеристики взаємодії генотип–середовище та диференціації селекційних ліній за врожайністю і стабільністю використали низку найбільш поширених підходів: S. A. Eberhart, W. A. Russel [32] – коефіцієнт екологічної пластичності ( $b_i$ ) і варіанса стабільності ( $S^2d_i$ ); G. Wricke [33] – ековаленса ( $W_i$ ); C. S. Lin, M. R. Binns [34] – показник переваги сорту ( $P_i$ ); M. Huehn [35] – непараметричні показники стабільності ( $S_i^{(1)}$  і  $S_i^{(2)}$ ); А. В. Кільчевський, Л. В. Хотильова [36] – загальна адаптивна здатність ( $ЗАЗ_i$ ), варіанса специфічної адаптивної здатності ( $\sigma ICAZ_i$ ), відносна стабільність генотипу ( $S_{gi}$ ), селекційна цінність генотипу ( $CI_{gi}$ ), продуктивність середовища ( $d_k$ ), диференціююча здатність середовища ( $\sigma IZC_k$ ), відносна диференціююча здатність середовища ( $S_{ek}$ ), коефіцієнт нелінійності відклику на середовище ( $L_{ek}$ ), коефіцієнт компенсації ( $K_{ek}$ ); В. В. Хангільдін, М. А. Литвиненко [37] – гомеостатичність ( $Hom$ ) і селекційна цінність ( $Sc$ ). Показник стабільності для АММІ моделі (ASV) вираховували відповідно до J. L. Purchase та ін. [38]. Для зручності інтерпретації за показниками стабільності провели рангову оцінку. Кращому значенню певного показника відповідає перший ранг ( $R = 1$ ). Для АММІ аналізу використали некомерційне програмне забезпечення GEAR-R.

## Результати досліджень

Робоча гіпотеза проведення багатосередовищних випробувань ґрунтувалась на низці

базових положень. Перше – визначальній ролі екологічних умов (розташування селекційної установи) у результативності селекційної роботи. Друге – факту глобальних кліматичних змін, які суттєво позначаються на варіюванні метеорологічних умов різних екологічних зон та спричиняють поступове зміщення кліматичних поясів України з Півдня на Північ. Третє – сьогоденної щільної конкуренції між селекційними компаніями в умовах якої необхідне якомога швидше створення і впровадження у виробництво нових сортів. Тому всебічна оцінка ліній у конкурсному випробуванні для прийняття рішення щодо передачі нових сортів на державне сорто випробування не повинна розтягуватись у часі, але водночас бути максимально інформативною.

Виходячи з викладеного основними аспектами випробувань були: 1) Усі установи (МІП, НСДС та ІСГС) місць проведення досліджень мають вагомий здобуток в селекції ячменю ярого; 2) Установи належать до системи Національної академії аграрних наук України, а НСДС входить в мережу МІП, однак має власні селекційні програми. Таким чином селекційний матеріал випробовується в мережі однієї організації; 3) Установи є рівновіддаленими від МІП (НСДС – 240 км у північному напрямі, ІСГС – 230 км у південному напрямі) і репрезентують різні екологічні зони – ІСГС – північну частину Степу, МІП – центральну частину Лісостепу, НСДС –

Полісся. Екологічне розміщення установ зумовлює різницю в ґрунтових та метеорологічних аспектах забезпечення рослин поживними речовинами. Разом з тим, враховуючи тенденції до «зміщення» кліматичних поясів у напрямку Степ > Лісостеп > Полісся, є можливість моніторингу закономірностей мінливості екологічних та метеорологічних чинників за їх впливом на врожайність ячменю ярого; 4) У перший рік конкурсного сортовипробування в МПП виділяються перспективні лінії, які два наступні роки випробовуються ще у двох екологічних умовах. Таким чином за три роки конкурсного сортовипробування селекційні лінії проходять випробування не у трьох, а в семи середовищах. У той самий час умови МПП мають на рік більшу пред-

ставленість у загальному меґасередовищі. Рівень врожайності селекційних ліній суттєво варіював, залежно від місця випробування та метеорологічних умов року (табл. 2). В усіх середовищах відмічені суттєві відмінності за врожайністю від 0,87 т/га в М17 до 1,79 т/га в К18. У середньому в досліді достовірно стандарт 'Взірець перевищили селекційні лінії 'Нутанс' 5152' (G9), 'Нутанс 5081' (G6), 'Нутанс 4982' (G3), 'Нутанс 5093' (G13), 'Нутанс 5069' (G5), 'Дефіцієнс 5145' (G7), 'Нутанс 5153' (G10) та 'Нутанс 5061' (G4). На рівні стандарту були лінії 'Нутанс 4966' (G2), 'Нутанс 5157' (G11), 'Нутанс 5032' (G12) і 'Нутанс 5150' (G8). У той же час середнє значення по досліді достовірно перевищила лише лінія 'Нутанс 5152' (G9).

Таблиця 2

**Урожайність селекційних ліній ячменю ярого  
в багатосередовищних випробуваннях**

Шифр	Назва сорту, номер лінії	Урожайність в середовищах, т/га							Mean
		M16	M17	M18	N17	N18	K17	K18	
G1	Взірець St	6,88	4,66	2,90	6,61	4,53	4,53	3,25	4,77
G2	Нутанс 4966	7,61	4,82	3,40	6,72	5,01	3,76	3,26	4,94
G3	Нутанс 4982	8,03	5,24	3,75	7,09	5,53	4,12	3,54	5,33
G4	Нутанс 5061	7,72	4,47	2,62	6,87	6,47	4,14	3,54	5,12
G5	Нутанс 5069	8,01	5,03	3,50	6,65	6,28	4,39	3,01	5,27
G6	Нутанс 5081	8,50	5,00	2,64	7,01	6,86	4,43	3,05	5,36
G7	Дефіцієнс 5145	7,54	5,09	2,70	6,79	5,40	4,81	4,06	5,20
G8	Нутанс 5150	7,99	4,91	3,34	6,19	5,42	4,83	2,37	5,01
G9	Нутанс 5152	8,13	5,06	3,95	6,49	6,20	4,34	4,07	5,46
G10	Нутанс 5153	7,93	4,85	3,33	5,91	5,63	4,28	4,16	5,16
G11	Нутанс 5157	7,83	4,88	2,89	5,82	5,31	3,97	3,46	4,88
G12	Нутанс 5032	7,89	4,63	3,04	6,50	5,26	3,60	2,96	4,84
G13	Нутанс 5093	8,25	5,35	3,76	6,94	5,75	4,06	2,99	5,30
Mean		7,87	4,92	3,22	6,58	5,67	4,25	3,36	5,12
Max		8,50	5,35	3,95	7,09	6,86	4,83	4,16	5,46
Min		6,88	4,47	2,62	5,82	4,53	3,60	2,37	4,77
R (Max-Min)		1,62	0,87	1,33	1,27	2,33	1,23	1,79	0,70
НІР <sub>0,05</sub>		0,22	0,23	0,24	0,26	0,36	0,39	0,16	0,27

**Примітка.** Mean – середнє, Max – максимальне, Min – мінімальне значення врожайності; R (Max-Min) – розмах варіювання врожайності.

Параметри середовища, як фону для оцінки селекційних ліній ячменю ярого вказують, що найпродуктивнішим фоном були умови середовища М16 ( $d_k = 2,75$ ), найменш продуктивним – М18 ( $d_k = -1,91$ ) (табл. 3). Найвищою диференціюючою здатністю характеризувались умови середовища N18 ( $\sigma_{IDZ_k} = 0,40$ ). При цьому в ньому була висока відносна диференціююча здатність ( $S_{ek} = 11,12$ ) і найбільшою мірою проявились ефекти дестабілізації ( $K_{ek} = 10,38$ ). Вищу ніж в N18 відносну диференціюючу здатність відмічено у середовищах K18 ( $S_{ek} = 15,12$ ) і M18 ( $S_{ek} = 13,67$ ). У той же час слід підкреслити, що дані середовища були найменш продуктивними – K18 ( $d_k = -1,76$ )

і M18 ( $d_k = -1,91$ ). Загалом середовища N18, K18 і M18 мали найвищу аналізуючу здатність. За коефіцієнтом нелінійності лише в K17 переважала нелінійна реакція на середовище –  $L_{ek} = 1,06$ . У решті середовищ

Таблиця 3

**Параметри середовища як фону для оцінки  
та диференціації селекційних ліній ячменю ярого**

Середовище	$d_k$	$\sigma_{IDZ_k}$	$L_{ek}$	$S_{ek}$	$K_{ek}$
M16	2,75	0,14	0,51	4,83	3,78
M17	-0,20	0,05	0,53	4,50	1,28
M18	-1,91	0,19	0,81	13,67	5,06
N17	1,46	0,15	0,82	5,88	3,92
N18	0,54	0,40	0,59	11,12	10,38
K17	-0,87	0,12	1,06	8,24	3,21
K18	-1,76	0,26	0,91	15,12	6,76

ефектив генотипи реагували на умови середовищ лінійно –  $L_{ek} = 0,51-0,91$ . Найвищу загальну адаптивну здатність мала селекційна лінія ‘Нутанс 5152’ (G9) ( $ЗАЗ_i = 0,34$ ), найнижчу – сорт ‘Взірець’ (G1) ( $ЗАЗ_i = 0,36$ ) (табл. 4). У той же час низьке числове значення варіанси специфічної адаптивної здатності було в лінії ‘Нутанс 5153’ (G10) ( $\sigma ICAZ_i = 2,27$ ) і стандарту ‘Взірець’ G1 ( $\sigma ICAZ_i = 2,29$ ), найвище – у селекційної лінії ‘Нутанс 5081’ (G6)

( $\sigma ICAZ_i = 4,75$ ). Остання мала і найгіршу відносну стабільність генотипу ( $Sg_i = 40,70$ ). Крапкою за  $Sg_i$  була лінія ‘Нутанс 5152’ (G9) ( $Sg_i = 28,28$ ). Високі значення селекційної цінності генотипу відмічені для селекційних ліній ‘Нутанс 5153’ (G10) ( $СЦГ_i = 3,45$ ), ‘Нутанс 4982’ (G3) ( $СЦГ_i = 3,40$ ) та ‘Нутанс 5152’ (G9) ( $СЦГ_i = 3,39$ ). Максимальну гомеостатичність ( $Hom_i = 19,27$ ) та селекційну цінність ( $Sc_i = 2,65$ ) поєднувала селекційна лінія ‘Нутанс 5152’ (G9).

Таблиця 4

**Характеристика селекційних ліній ячменю ярого  
за показниками адаптивної здатності, стабільності, селекційної цінності  
та гомеостатичності**

Шифр	$ЗАЗ_i$	R	$\sigma ICAZ_i$	R	$Sg_i$	R	$СЦГ_i$	R	$Hom_i$	R	$Sc_i$	R
G1	-0,36	13	2,29	2	31,72	4	3,06	8	14,99	7	2,01	5
G2	-0,18	10	2,81	6	33,93	6	3,05	9	14,53	8	2,12	4
G3	0,20	3	2,92	7	32,09	5	3,40	2	16,57	4	2,35	2
G4	-0,01	8	3,62	12	37,18	11	2,97	11	13,75	10	1,74	11
G5	0,14	5	3,24	8	34,18	8	3,23	5	15,38	5	1,98	6
G6	0,23	2	4,75	13	40,70	13	2,89	12	13,14	12	1,66	12
G7	0,07	6	2,61	4	31,08	3	3,37	4	16,70	3	1,87	8
G8	-0,12	9	3,37	9	36,65	10	3,18	7	13,64	11	1,48	13
G9	0,34	1	2,39	3	28,28	1	3,39	3	19,27	1	2,65	1
G10	0,03	7	2,27	1	29,21	2	3,45	1	17,61	2	2,17	3
G11	-0,25	11	2,75	5	34,00	7	3,00	10	14,33	9	1,80	10
G12	-0,28	12	3,42	10	38,20	12	2,75	13	12,66	13	1,82	9
G13	0,17	4	3,47	11	35,14	9	3,19	6	15,06	6	1,92	7

Наближену до оптимальної реакцію на зміну умов середовища відповідно до коефіцієнту екологічної пластичності мали лінії ‘Нутанс 5093’ (G3) ( $b_i = 0,99$ ), ‘Нутанс 5069’ (G5) ( $b_i = 1,03$ ), ‘Нутанс 4966’ (G2) ( $b_i = 0,97$ ). Найменш реагував на зміну умов середовищ стандарт ‘Взірець’ (G1) ( $b_i = 0,85$ ) та селекційна лінія ‘Нутанс 5153’ (G10) ( $b_i = 0,86$ ) (табл. 5). Найсильнішу реакцію на умови середовища мала селекційна лінія ‘Нутанс 5081’ (G6) ( $b_i = 1,26$ ). За варіансою стабільності кращою була лінія ‘Нутанс 5032’ (G12) ( $S^2d_i = 0,03$ ). Відповідно до значень ековаленси найстабільнішими були лінії ‘Нутанс 5032’ (G12) ( $W_i = 0,31$ ), ‘Нутанс 5157’ (G11) ( $W_i = 0,46$ ) та ‘Нутанс 4982’ (G3) ( $W_i = 0,46$ ). За показником переваги генотипу суттєво вирізнялась селекційна лінія ‘Нутанс 5152’ (G9) ( $P_i = 0,09$ ). За першим непараметричним показником стабільності, який є вираженням середньої абсолютної різниці рангів у середовищах, стабільними були селекційні лінії ‘Нутанс 5093’ (G13) ( $S_i^{(1)} = 0,71$ ), ‘Нутанс 4982’ (G3) ( $S_i^{(1)} = 0,76$ ) та ‘Нутанс 5032’ (G12) ( $S_i^{(1)} = 0,76$ ). За другим непараметричним показником, який характеризує варіансу рангів у середовищах, найстабільнішими були селекційні лінії ‘Нутанс 5032’ (G12) ( $S_i^{(2)} = 5,00$ ), ‘Нутанс 5157’ (G11) ( $S_i^{(2)} = 5,17$ ).

Дисперсійним аналізом АММІ моделі виявлено значну перевагу в загальній дисперсії умов середовища – 93,17% (табл. 6). Частка взаємодії генотип–середовище становила 5,19%, генотипу – 1,64%. Незважаючи на низькі числові значення останніх двох вони були достовірними. Такі результати підтверджують значну контрастність екологічних умов та умов років досліджень, що суттєво впливали на рівень врожайності селекційних ліній. Низькі значення частки генотипу значною мірою пов’язані з тим, що в дослід залучили відібрані кращі селекційні лінії. У той же час така комбінація екологічних та погодних умов випробувань сприяла оцінці та виділенню кращих з кращих генотипів. Перші дві головні компоненти АММІ моделі пояснювали 60,29% взаємодії генотип–середовище.

АММІ biplot (рис. 1) відображає варіансу головних адитивних ефектів генотипів (G1...G13) і середовищ випробувань (M16...K18) по горизонтальній осі (YLD) та варіансу мультиплікативних ефектів взаємодії генотип–середовище по вертикальній осі (Factor 1). Є змога візуально аналізувати дисперсію генотипів і середовищ випробувань та взаємодію між ними. Вертикальна лінія, що перетинає основу АММІ biplot репрезентує середню врожайність у досліді. Помітна значна різниця за

Таблиця 5

## Характеристика селекційних ліній ячменю ярого за параметричними та непараметричними показниками стабільності

Шифр	$b_i$	R	$S^2d_i$	R	$W_i$	R	$P_i$	R	$S_i^{(1)}$	R	$S_i^{(2)}$	R
G1	0,85	7	0,24	11	1,65	12	0,77	13	1,10	8	13,21	8
G2	0,97	2	0,10	6	0,57	5	0,49	10	1,05	6	9,83	6
G3	0,99	1	0,09	4	0,46	3	0,21	3	0,76	2	8,04	5
G4	1,09	6	0,24	12	1,39	10	0,30	7	1,10	7	19,71	13
G5	1,03	2	0,10	5	0,55	4	0,20	2	1,14	9	8,00	4
G6	1,26	7	0,18	9	2,11	13	0,23	4	1,67	13	18,00	12
G7	0,90	4	0,21	10	1,25	9	0,35	8	1,62	12	17,04	11
G8	1,04	3	0,28	13	1,45	11	0,49	9	1,38	11	15,17	9
G9	0,90	5	0,08	2	0,60	6	0,09	1	1,05	5	7,17	3
G10	0,86	6	0,14	8	1,07	8	0,30	6	1,29	10	11,00	7
G11	0,96	3	0,08	3	0,46	2	0,50	11	0,81	4	5,17	2
G12	1,08	5	0,03	1	0,31	1	0,53	12	0,76	3	5,00	1
G13	1,08	4	0,12	7	0,72	7	0,24	5	0,71	1	16,50	10

Таблиця 6

## Дисперсійний аналіз (АММІ модель) врожайності селекційних ліній ячменю ярого

Фактор	Сума квадратів	Число ступенів волі	Середній квадрат	Частка внеску у варіацію, %
Генотип	11,97	12	1,00**	1,64
Середовище	679,49	6	113,25**	93,17
Взаємодія				
генотип–середовище	37,82	72	0,52**	5,19
Factor 1*	13,99	17	0,82**	37,00
Factor 2	9,81	15	0,65**	25,93
Factor 3	6,78	13	0,52**	17,94
Factor 4	5,27	11	0,48**	13,94
Factor 5	1,64	9	0,18	4,33
Factor 6	0,33	7	0,05	0,87
Factor 7	0	5	0	–
Residuals	5,09	182	0,03	–

\*Factor 1...7 – головні компоненти; \*\* – достовірно на 1%-му рівні.

врожайністю між окремими середовищами. Найвищу врожайність генотипи мали в М16, найнижчу – в М18 та К18. У той же час серед-

ня врожайність селекційних ліній була досить наближеною до середньої в досліді. Кращими є генотипи, які мають високу середню врожайність, а відносно вертикальної осі розташовані наближено до нуля. У даному випадку врожайність та відносну стабільність поєднували селекційні лінії ‘Нутанс 5152’ (G9), ‘Нутанс 5093’ (G13) та ‘Нутанс 4982’ (G3).

АММІ2 biplot (рис. 2) характеризує мультиплікативні ефекти взаємодії генотип–середовище в координатах першої (Factor 1) та другої (Factor 2) головних компонент. Пунктирні лінії, що виходять з основи АММІ2 biplot розділяють його на декілька секторів, у яких розташовані генотипи та середовища. Середовища, які знаходяться в одному секторі формують мегасередовище. На верхівках полігональної фігури розташовані генотипи з найбільш вираженою реакцією на умови середовища (мегасередовища). Генотипи з вищою стабільністю за середовищами повинні бути розташовані ближче до основи АММІ2 biplot. Відносно ближчими до центру були селекційні лінії ‘Нутанс 5152’ (G9), ‘Нутанс 5032’ (G12) та ‘Нутанс 5157’ (G11).

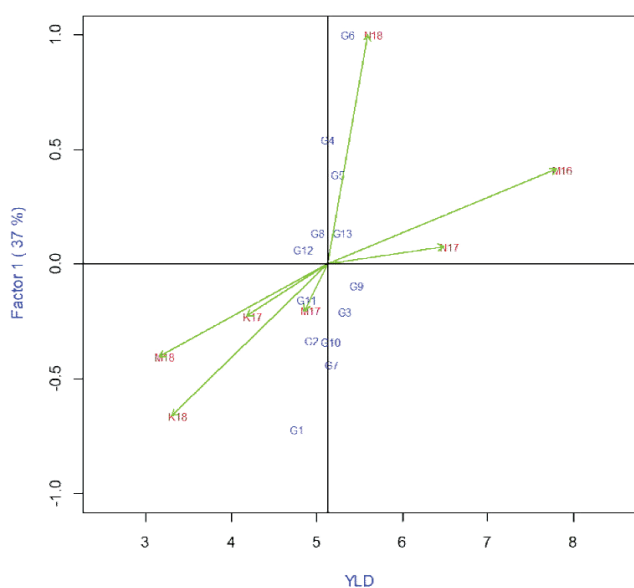


Рис. 1. АММІ1 biplot – розподіл генотипів і середовищ у координатах: середня врожайність (YLD) – головна компонента 1 (Factor 1)

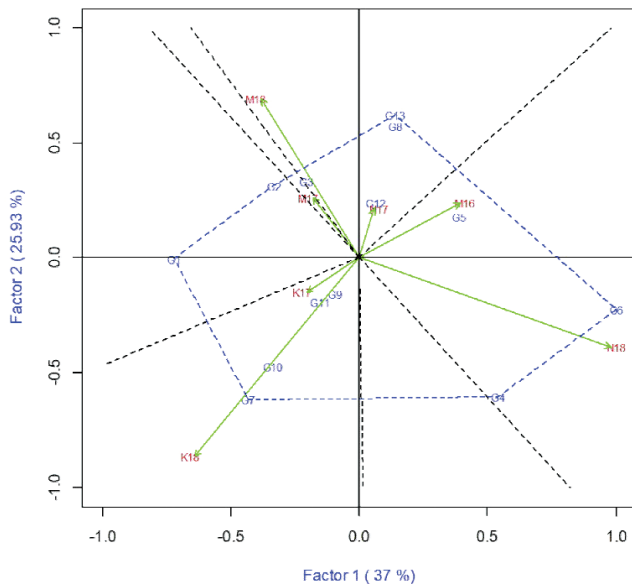


Рис. 2. AMMI2 biplot – розподіл сортів і середовищ у координатах перших двох головних компонент

Візуальні дані AMMI2 biplot підтверджуються числовими значеннями головних компонент (IPC), які наведені у таблиці 7. На їх основі J. L. Purchase та ін. [38] запропонували розрахунок показника стабільності AMMI моделі (ASV). Відповідно до нього найвищою стабільністю відрізнялись лінії ‘Нутанс 5152’ (G9) (ASV = 0,20), ‘Нутанс 5032’ (G12) (ASV = 0,26) та ‘Нутанс 5157’ (G11) (ASV = 0,29).

Таблиця 7

Значення головних компонент та показника стабільності AMMI моделі для селекційних ліній ячменю ярого

Шифр	IPC1 (Factor 1)	IPC2 (Factor 2)	ASV	R
G1	-0,72	0,00	1,03	12
G2	-0,33	0,31	0,57	5
G3	-0,21	0,33	0,45	4
G4	0,54	-0,60	0,98	11
G5	0,39	0,18	0,59	6
G6	1,00	-0,22	1,45	13
G7	-0,43	-0,61	0,87	10
G8	0,14	0,57	0,61	7
G9	-0,09	-0,16	0,20	1
G10	-0,34	-0,47	0,67	9
G11	-0,15	-0,19	0,29	3
G12	0,07	0,24	0,26	2
G13	0,14	0,62	0,65	8

Таким чином, виділені селекційні лінії ‘Нутанс 5152’, ‘Нутанс 4982’, ‘Нутанс 5069’ та ‘Нутанс 5093’ з оптимальнішим поєднанням потенціалу врожайності та стабільності. Дані селекційні лінії передані до Українського інституту експертизи сортів рослин для проведення кваліфікаційної експертизи як нові

Таблиця 8  
Кореляція врожайності селекційних ліній ячменю ярого з параметричними та непараметричними показниками адаптивної здатності, стабільності, селекційної цінності та гомеостатичності

Урожайність, показники стабільності	Mean	Max	Min	$b_i$	$S^2 d_i$	$W_i$	$P_i$	$S_i^{(1)}$	$S_i^{(2)}$	ASV	ЗАЗ <sub>i</sub>	$\sigma_{ICA3_i}$	Sg <sub>i</sub>	ЦЦГ <sub>i</sub>	Ном <sub>i</sub>
Max	0,71														
Min	0,40	0,12	-0,46												
$b_i$	0,25	0,65	-0,66	0,01											
$S^2 d_i$	-0,15	-0,35	-0,66	0,01	0,84										
$W_i$	0,03	-0,10	-0,58	0,26	0,30	0,16									
$P_i$	-0,95	-0,76	-0,42	-0,26	0,62	0,77	-0,08								
$S_i^{(1)}$	0,19	0,03	-0,42	0,10	0,80	0,80	-0,07	0,57							
$S_i^{(2)}$	0,20	0,00	-0,60	0,34	0,68	0,90	0,07	0,67	0,82						
ASV	0,09	-0,08	-0,55	0,38	0,68	0,90	0,07	0,21	0,20	0,09					
ЗАЗ <sub>i</sub>	1,00	0,69	0,39	0,23	-0,15	0,03	-0,96	0,21	0,20		0,24				
$\sigma_{ICA3_i}$	0,25	0,60	-0,53	0,99	0,13	0,38	-0,24	0,22	0,43	0,49	0,24				
Sg <sub>i</sub>	-0,16	0,34	-0,68	0,91	0,16	0,31	0,13	0,09	0,33	0,39	-0,17	0,91			
ЦЦГ <sub>i</sub>	0,53	0,06	0,50	-0,59	0,01	-0,14	-0,48	0,13	-0,03	-0,21	0,55	-0,58	-0,81	0,88	
Ном <sub>i</sub>	0,53	0,00	0,76	-0,68	-0,21	-0,24	-0,49	0,02	-0,22	-0,31	0,54	-0,68	-0,92	0,58	0,83
Sc <sub>i</sub>	0,41	-0,02	0,98	-0,55	-0,53	-0,47	-0,40	-0,33	-0,49	-0,45	0,41	-0,60	-0,77	0,58	0,83

сорти ячменю ярого 'МПП Шарм', 'МПП Девіз', 'МПП Титул' та 'МПП Захисник', відповідно.

Також виділені селекційні лінії, які можуть бути використані в гібридизації як джерела підвищеного адаптивного потенціалу для окремих екологічних умов. Зокрема, Полісся – 'Нутанс 5061', Полісся та Лісостепу – 'Нутанс 5081' та 'Нутанс 4966', Північного Степу – 'Дефіцієнс 5145'.

Враховуючи різну оцінку параметрами селекційних ліній практичне значення має визначення зв'язку розглянутих показників адаптивності з врожайністю та між собою (табл. 8).

Середня врожайність (mean) сильно корелювала з максимальним (max) її лімітом ( $r = 0,71$ ). Закономірно функціональним позитивним був зв'язок mean із  $ЗАЗ_i$  ( $r = 1,00$ ), оскільки остання є індексним вираженням першої. Наближений до негативного функціонального був зв'язок mean з  $P_i$  ( $r = -0,95$ ). Середній позитивний зв'язок з mean мали  $СЦГ_i$  та  $Ном_i$  ( $r = 0,53$ ). З max сильну негативну кореляцію відмічено для  $P_i$  ( $r = -0,76$ ).

Середній позитивний зв'язок був між max та  $b_i$ ,  $ЗАЗ_i$  та  $сІСАЗ_i$  ( $r = 0,60-0,69$ ). Min мала наближену до функціональної залежність з  $Sc_i$  ( $r = 0,98$ ), сильну з  $Ном_i$  ( $r = 0,76$ ), середню з  $СЦГ_i$  ( $r = 0,50$ ). Середній негативний зв'язок min ( $r = -0,53 - -0,68$ ) був з низкою показників –  $S^2d_i$ ,  $W_i$ ,  $S_i^{(2)}$ ,  $ASV$ ,  $сІСАЗ_i$ ,  $Sg_i$ .

Кореляція між показниками стабільності виявила наближений до функціонального зв'язок  $b_i$  з  $сІСАЗ_i$  ( $r = 0,99$ ) та  $Sg_i$  ( $r = 0,91$ ). Сильну залежність  $S^2d_i$  виявлено для  $W_i$  ( $r = 0,84$ ) та  $S_i^{(2)}$  ( $r = 0,80$ ). Ековаленса  $W_i$  мала наближену до функціональної кореляцію з  $ASV$  ( $r = 0,90$ ), сильну – з  $S_i^{(1)}$  ( $r = 0,77$ ) та  $S_i^{(2)}$  ( $r = 0,80$ ).  $ASV$  сильно корелювала з  $S_i^{(2)}$  ( $r = 0,82$ ). Наближений до позитивного функціонального був зв'язок  $Sg_i$  з  $сІСАЗ_i$  ( $r = 0,91$ ), у той же час наближений до негативного функціонального – з  $Ном_i$  ( $r = -0,92$ ), сильний негативний з  $СЦГ_i$  ( $r = -0,81$ ) та  $Sc_i$  ( $r = -0,77$ ). Сильною позитивною була кореляція  $Ном_i$  з  $СЦГ_i$  ( $r = 0,88$ ), а також з  $Sc_i$  ( $r = 0,83$ ).

## Висновки

Виявлена сильна мінливість врожайності селекційних ліній, яка зумовлювалась як екологічними, так і погодними умовами років досліджень. Дисперсійним аналізом АММІ моделі виявлено достовірні вклади у варіацію генотипу, середовища та їх взаємодії. Частка умов середовища суттєво переважала інші фактори – 93,17%.

Визначена кореляція між врожайністю та окремими показниками стабільності. Низка параметрів оцінює тільки стабільність без ура-

хування рівня врожайності. Інші параметри досить сильно пов'язані з середнім рівнем врожайності, або максимальним чи мінімальним її значенням.

Виділені селекційні лінії 'Нутанс 5152', 'Нутанс 4982', 'Нутанс 5069' та 'Нутанс 5093' з оптимальнішим поєднанням потенціалу врожайності та стабільності. Дані лінії передані до Українського інституту експертизи сортів рослин для проведення кваліфікаційної експертизи як нові сорти ячменю ярого 'МПП Шарм', 'МПП Девіз', 'МПП Титул' та 'МПП Захисник'.

Низка селекційних ліній може бути використана в гібридизації, як джерело підвищеного адаптивного потенціалу для окремих екологічних умов: Полісся – 'Нутанс 5061', Полісся та Лісостепу – 'Нутанс 5081' та 'Нутанс 4966', Північного Степу – 'Дефіцієнс 5145'.

Проведення багатосередовищних екологічних випробувань та аналіз експериментальних даних, поєднуючи статистичні показники та АММІ, сприяє поглибленій оцінці взаємодії генотип–середовище та виділенню кращих з кращих селекційних ліній на завершальних етапах селекції.

## Використана література

- Сурина Н. А., Ляхова Н. Е., Герасимов С. А. Комплексная оценка селекционного материала в селекции ячменя на адаптивность в Восточносибирском регионе. *Вест. Кемеровского гос. ун-та*. 2015. Т. 3, № 4. С. 98–103. doi: 10.21603/2078-8975-2015-4-98-103
- Hill J. Genotype-environment interaction – a challenge for plant breeding. *J. Agr. Sci.* 1975. Vol. 85, Iss. 3. P. 477–493. doi: 10.1017/S0021859600062365
- Кильчевский А. В., Хотылёва Л. В. Генотип и среда в селекции растений. Минск: Наука и техника, 1989. 191 с.
- Malosetti M., Ribaut J.-M., van Eeuwijk F. A. The statistical analysis of multi-environment data: modeling genotype-by-environment interaction and its genetic basis. *Front. Physiol.* 2013. Vol. 4. Article 44. doi: 10.3389/fphys.2013.00044
- Yüksel S., Akçura M. Pattern analysis of multi-environment yield trials in barley (*Hordeum vulgare* L.). *Turk. J. Agric. For.* 2012. Vol. 36, Iss. 3. P. 285–295. doi: 10.3906/tar-1103-41
- Sabaghnia N., Mohammadi M., Karimizadeh R. Yield stability of performance in multi-environment trials of barley (*Hordeum vulgare* L.) genotypes. *Acta Univ. Agric. Silv. Mendelianae Brun.* 2013. Vol. 61, Iss. 3. P. 787–793. doi: 10.11118/actaun201361030787
- van Eeuwijk F. A., Bustos-Korts D. V., Malosetti M. What should students in plant breeding know about the statistical aspects of genotype × environment interactions? *Crop Sci.* 2016. Vol. 56, Iss. 5. P. 2119–2140. doi: 10.2135/cropsci2015.06.0375
- Dimova D., Krasteva L., Panayotov N. et al. Evaluation of the yield and the yield stability of perspective lines of barley. *Agroznanje*. 2012. Vol. 13, Iss. 1. P. 55–60. doi: 10.7251/AGREN1201055D
- Verma A., Singh J., Kumar V. et al. Non parametric analysis in multi environmental trials of feed barley genotypes. *Int. J. Curr. Microbiol. Appl. Sci.* 2017. Vol. 6, Iss. 6. P. 1201–1210. doi: 10.20546/ijcmas.2017.606.139
- Mohammadi R., Mahmoodi K. N. Stability analysis of grain yield in barley (*Hordeum vulgare* L.). *Int. J. Plant Breed.* 2008. Vol. 2, Iss. 2. P. 74–78.



11. Bolandi A., Imani A. A., Shahbazi H., Mehraban A. The study of compatibility and stability of grain yield in barley advanced genotypes in tropical and subtropical reinfed regions. *Ann. Biol. Res.* 2012. Vol. 3, Iss. 12. P. 5540–5544.
12. Mohammadi M. Grouping barley genotypes by regression-based and ANOVA-based clustering methods in multi-environments trials. *Curr. Opin. Agric.* 2014. Vol. 3, Iss. 1. P. 30–35.
13. Mut Z., Gülümser A., Sirat A. Comparison of stability statistics for yield in barley (*Hordeum vulgare* L.). *Afr. J. Biotechnol.* 2010. Vol. 9, Iss. 11. P. 1610–1618. doi: 10.5897/AJB10.1404
14. Ващенко В. В. Оценка сортов ячменя ярового по адаптивной стабильности. *Селекція і насінництво*. 2011. Вип. 100. С. 96–100. doi: 10.30835/2413-7510.2011.66532
15. Ващенко В. В., Шевченко О. О. Адаптивність і стабільність сортів ячменю за показниками продуктивності. *Вісн. Дніпропетровського ДАЕУ*. 2013. № 1. С. 11–15.
16. Ващенко В. В., Шевченко А. А. Дифференцирующая способность сред по признаку общая кустистость ячменя ярового. *Вісн. Дніпропетровського ДАЕУ*. 2014. № 2. С. 77–80.
17. Ващенко В. В., Шевченко А. А. Дифференцирующая способность сред как метод отбора исходного материала в селекции ячменя ярового. *Селекція і насінництво*. 2015. Вип. 108. С. 8–11. doi: 10.30835/2413-7510.2015.57337
18. Марухняк А. Я. Оценка адаптивных особенностей сортов ярового ячменя. *Вест. Белорус. гос. с.-х. акад.* 2018. № 1. С. 67–72.
19. Маренюк О. Б. Пластичність та стабільність кількісних ознак, колекційних зразків ячменю ярого в умовах підвищеної кислотності ґрунтів. *Селекція і насінництво*. 2014. Вип. 106. С. 77–82. doi: 10.30835/2413-7510.2014.42133
20. Солонечний П. М. Гомеостатичність та селекційна цінність сучасних сортів ячменю ярого. *Селекція і насінництво*. 2013. Вип. 103. С. 36–41. doi: 10.30835/2413-7510.2013.54064
21. Солонечний П. М., Козаченко М. Р., Васьюк Н. І., Наумов О. Г., Бабушкіна Т. В. Комплексна оцінка адаптивності сортів ячменю ярого за урожайністю та стійкістю до хвороб. *Передгірне та гірське землеробство і тваринництво*. 2014. Вип. 56, Ч. 1. С. 169–176.
22. Солонечний П. М. Оцінка адаптивної здатності та стабільності сортів ячменю ярого за продуктивністю. *Вісник Полтавської ДАА*. 2014. № 4. С. 48–53.
23. Важенина О. Є. Екологічна стабільність сортів ячменю ярого за елементами продуктивності та створення на цій основі цінного вихідного матеріалу. *Селекція і насінництво*. 2014. Вип. 106. С. 5–12. doi: 10.30835/2413-7510.2014.42096
24. Mehari M., Alamerew S., Lakew B. Genotype × environment interaction and yield stability of malt barley genotypes evaluated in Tigray, Ethiopia using the AMMI analysis. *Asian J. Plant Sci.* 2014. Vol. 13, Iss. 2. P. 73–79. doi: 10.3923/ajps.2014.73.79
25. Kiliç N. Additive main effects and multiplicative interactions (AMMI) analysis of grain yield in barley genotypes across environments. *Tar. Bil. Der.* 2014. Vol. 20, Iss. 4. P. 337–344. doi: 10.15832/tbd.44431
26. Abteu W. G., Lakew B., Haussmann B. I. G., Schmid K. J. Ethiopian barley landraces show higher yield stability and comparable yield to improved varieties in multi-environment field trials. *J. Plant Breed. Crop Sci.* 2015. Vol. 7, Iss. 8. P. 275–291. doi: 10.5897/JPBCS2015.0524
27. Verma R. P. S., Kharab A. S., Singh J. et al. AMMI model to analyse G×E for dual purpose barley in multi-environment trials. *Agric. Sci. Digest.* 2016. Vol. 36, Iss. 1. P. 9–16. doi: 10.18805/asd.v35i1.9303
28. Solonechnyi P. M., Kozachenko M. R., Vasko N. I. et al. AMMI (additive main effect and multiplicative interaction) model for assessment of yield stability of spring barley genotypes. *Селекція і насінництво*. 2016. Вип. 110. С. 131–141. doi: 10.30835/2413-7510.2016.87620
29. Gauch H. G. Model selection and validation for yield trials with interaction. *Biometrics.* 1988. Vol. 44, Iss. 3. P. 705–715. doi: 10.2307/2531585
30. Gabriel K. R. The biplot graphic display of matrices with application to principal components analysis. *Biometrika.* 1971. Vol. 58, Iss. 3. P. 453–467. doi: 10.2307/2334381
31. Yan W., Tinker N. A. Biplot analysis of multi-environment trial data: Principles and applications *Can. J. Plant Sci.* 2006. Vol. 86, Iss. 3. P. 623–645. doi: 10.4141/P05-169
32. Eberhart S. A., Russel W. A. Stability parameters for comparing varieties. *Crop Sci.* 1966. Vol. 6, Iss. 1. P. 36–40. doi: 10.2135/cropsci1966.0011183X000600010011x
33. Wricke G. Über eine methode zur erfassung der ökologischen streubreite in feldversuchen. *Z. Pflanzenzücht.* 1962. Vol. 47, Iss. 1. P. 92–96.
34. Lin C. S., Binns M. R. A superiority measure of cultivar performance for cultivar × location data. *Can. J. Plant Sci.* 1988. Vol. 68, Iss. 1. P. 193–198. doi: 10.4141/cjps88-018
35. Huehn M. Nonparametric measures of phenotypic stability. Part 1: Theory. *Euphytica.* 1990. Vol. 47, Iss. 3. P. 189–194. doi: 10.1007/BF00024241
36. Кильчевский А. В., Хотылева Л. В. Метод оценки адаптивной способности и стабильности генотипов, дифференцирующей способности среды. Сообщение I. Обоснование метода. *Генетика*. 1985. Т. 21, № 9. С. 1481–1489.
37. Хангильдин В. В., Литвиненко Н. А. Гомеостатичність і адаптивність сортів озимой пшеницы. *Науч.-техн. бюл. ВСГИ*. 1981. Вып. 1. С. 8–14.
38. Purchase J. L., Hatting H., van Deventer C. S. Genotype × environment interaction of winter wheat (*Triticum aestivum* L.) in South Africa: II. Stability analysis of yield performance. *South Afric. J. Plant Soil.* 2000. Vol. 17, Iss. 3. P. 101–107. doi: 10.1080/02571862.2000.10634878

## References

1. Surin, N. A., Lyakhova, N. E., & Gerasimov, S. A. (2015). Comprehensive breeding patterns assessment on adaptability in the Eastern Siberia region in the selection of barley. *Vestnik Kemerovskogo gosudarstvennogo universiteta* [Bulletin of Kemerovo State University], 3(4), 98–103. doi: 10.21603/2078-8975-2015-4-98-103 [in Russian]
2. Hill, J. (1975). Genotype-environment interaction – a challenge for plant breeding. *J. Agr. Sci.*, 85(3), 477–493. doi: 10.1017/S0021859600062365
3. Kilchevskiy, A. V., & Khotyleva, L. V. (1989). *Genotip i sreda v selektsii rasteniy* [Genotype and Environment in the Plant Breeding]. Minsk: Nauka i tekhnika. [in Russian]
4. Malosetti, M., Ribaut, J.-M., & van Eeuwijk, F. A. (2013). The statistical analysis of multi-environment data: modeling genotype-by-environment interaction and its genetic basis. *Front. Physiol.*, 4, 44. doi: 10.3389/fphys.2013.00044
5. Yüksel, S., & Akçura, M. (2012). Pattern analysis of multi-environment yield trials in barley (*Hordeum vulgare* L.). *Turk. J. Agric. For.*, 36(3), 285–295. doi: 10.3906/tar-1103-41
6. Sabaghnia, N., Mohammadi, M., & Karimizadeh, R. (2013). Yield stability of performance in multi-environment trials of barley (*Hordeum vulgare* L.) genotypes. *Acta Univ. Agric. Silv. Mendelianae Brun.*, 61(3), 787–793. doi: 10.11118/actaun201361030787
7. van Eeuwijk, F. A., Bustos-Korts, D. V., & Malosetti, M. (2016). What should students in plant breeding know about the statistical aspects of genotype × environment interactions? *Crop Sci.*, 56(5), 2119–2140. doi: 10.2135/cropsci2015.06.0375
8. Dimova, D., Krasteva, L., Panayotov, N., Svetleva, D., Dimitrova, M., & Georgieva, T. (2012). Evaluation of the yield and the yield stability of perspective lines of barley. *Agroznanje*, 13(1), 55–60. doi: 10.7251/AGREN1201055D
9. Verma, A., Singh, J., Kumar, V., Kharab, A. S., & Singh, G. P. (2017). Non parametric analysis in multi environmental trials of feed barley genotypes. *Int. J. Curr. Microbiol. Appl. Sci.*, 6(6), 1201–1210. doi: 10.20546/ijcmas.2017.606.139
10. Mohammadi, R., & Mahmoodi, K. N. (2008). Stability analysis of grain yield in barley (*Hordeum vulgare* L.). *Int. J. Plant Breed.*, 2(2), 74–78.

11. Bolandi, A., Imani, A. A., Shahbazi, H., & Mehraban, A. (2012). The study of compatibility and stability of grain yield in barley advanced genotypes in tropical and subtropical reinfed regions. *Ann. Biol. Res.*, 3(12), 5540–5544.
12. Mohammadi, M. (2014). Grouping barley genotypes by regression-based and ANOVA-based clustering methods in multi-environment trials. *Curr. Opin. Agric.*, 3(1), 30–35.
13. Mut, Z., Gülümser, A., & Sirat, A. (2010). Comparison of stability statistics for yield in barley (*Hordeum vulgare* L.). *Afr. J. Biotechnol.*, 9(11), 1610–1618. doi: 10.5897/AJB10.1404
14. Vashchenko, V. V. (2011). Evaluation of spring barley varieties by adaptive stability. *Selekcija i nasinnictvo* [Plant Breeding and Seed Production], 100, 96–100. doi: 10.30835/2413-7510.2011.66532 [in Russian]
15. Vashchenko, V. V., & Shevchenko, O. O. (2013). Adaptability and stability of spring barley varieties for productivity traits. *Visnik Dnipropetrovs'kogo derzavnogo agrarno-ekonomichnogo universitetu* [News of Dnipropetrovsk State Agrarian and Economic University], 1, 11–15. [in Ukrainian]
16. Vashchenko, V. V., & Shevchenko, A. A. (2014). Differentiating ability of the medias by the total tillering spring barley varieties trait. *Visnik Dnipropetrovs'kogo derzavnogo agrarno-ekonomichnogo universitetu* [News of Dnipropetrovsk State Agrarian and Economic University], 2, 77–80. [in Russian]
17. Vashchenko, V. V., & Shevchenko, A. A. (2015). Differentiating ability of media as a method of selecting the raw material in spring barley breeding. *Selekcija i nasinnictvo* [Plant Breeding and Seed Production], 108, 8–11. doi: 10.30835/2413-7510.2015.57337 [in Russian]
18. Marukhnyak, A. Ya. (2018). Evaluation of spring barley varieties adaptive ability. *Vestnik Belorusskoy Gosudarstvennoy Selskokhozyaystvennoy Akademii* [Bulletin of the Belarussian State Agricultural Academy], 1, 67–72. [in Russian]
19. Mareniuk, A. B. (2014). Plasticity and stability of quantitative traits of collection spring barley variety samples under the conditions of increased soil acidity. *Selekcija i nasinnictvo* [Plant Breeding and Seed Production], 106, 77–82. doi: 10.30835/2413-7510.2014.42133 [in Ukrainian]
20. Solonechnyi, P. M. (2013). Homeostaticity and breeding value of modern barley varieties. *Selekcija i nasinnictvo* [Plant Breeding and Seed Production], 103, 36–41. doi: 10.30835/2413-7510.2013.54064
21. Solonechnyi, P. M., Kozachenko, M. R., Vasko, N. I., Naumov, O. H., & Babushkina, T. V. (2014). Complex assessment of adaptability of spring barley varieties by the yield and resistance from pathogens. *Peredchirmeta girs'ke zemlerobstvo i tvarinnictvo* [Foothill and Mountain Agriculture and Stockbreeding], 56(1), 169–176. [in Ukrainian]
22. Solonechnyi, P. N. (2014). Adaptability and stability of spring barley cultivars in terms of performance. *Visn. Poltav. derz. agrar. akad.* [News of Poltava State Agrarian], 4, 48–53. [in Ukrainian]
23. Vazhenina, O. E. (2014). Ecological stability of spring barley varieties on productivity and the creation of a valuable source of material. *Selekcija i nasinnictvo* [Plant Breeding and Seed Production], 106, 5–12. doi: 10.30835/2413-7510.2014.42096 [in Ukrainian]
24. Mehari, M., Alamerew, S., & Lakew, B. (2014). Genotype × environment interaction and yield stability of malt barley genotypes evaluated in Tigray, Ethiopia using the AMMI analysis. *Asian J. Plant Sci.*, 13(2), 73–79. doi: 10.3923/ajps.2014.73.79
25. Kiliç, H. (2014). Additive main effects and multiplicative interactions (AMMI) analysis of grain yield in barley genotypes across environments. *Tar. Bil. Der.*, 20(4), 337–344. doi: 10.15832/tbd.44431
26. Abteu, W. G., Lakew, B., Hausmann, B. I. G., & Schmid, K. J. (2015). Ethiopian barley landraces show higher yield stability and comparable yield to improved varieties in multi-environment field trials. *J. Plant Breed. Crop Sci.*, 7(8), 275–291. doi: 10.5897/JPBCS2015.0524
27. Verma, R. P. S., Kharab, A. S., Singh, J., Kumar, V., Sharma, I., & Verma, A. (2016). AMMI model to analyse G×E for dual purpose barley in multi-environment trials. *Agric. Sci. Digest.*, 36(1), 9–16. doi: 10.18805/asd.v35i1.9303
28. Solonechnyi, P. M., Kozachenko, M. R., Vasko, N. I., Naumov, O. G., Solonechna, O. V., Vazhenina, O. Ye., & Kompanets, K. V. (2016). AMMI (additive main effect and multiplicative interaction) model for assessment of yield stability of spring barley genotypes. *Selekcija i nasinnictvo* [Plant Breeding and Seed Production], 110, 131–141. doi: 10.30835/2413-7510.2016.87620
29. Gauch, H. G. (1988). Model selection and validation for yield trials with interaction. *Biometrics*, 44(3), 705–715. doi: 10.2307/2531585
30. Gabriel, K. R. (1971). The biplot graphic display of matrices with application to principal components analysis. *Biometrica*, 58(3), 453–467. doi: 10.2307/2334381
31. Yan, W., & Tinker, N. A. (2006). Biplot analysis of multi-environment trial data: Principles and applications. *Can. J. Plant Sci.*, 86(3), 623–645. doi: 10.4141/P05-169
32. Eberhart, S. A., & Russel, W. A. (1966). Stability parameters for comparing varieties. *Crop Sci.*, 6(1), 36–40. doi: 10.2135/cropsci1966.0011183X000600010011x
33. Wricke, G. (1962). Über eine methode zur erfassung der ökologischen streubreite in feldversuchen. *Z. Pflanzenzücht.*, 47(1), 92–96.
34. Lin, C. S., & Binns, M. R. (1988). A superiority measure of cultivar performance for cultivar × location data. *Can. J. Plant Sci.*, 68(1), 193–198. doi: 10.4141/cjps88-018
35. Huehn, M. (1990). Nonparametric measures of phenotypic stability. Part 1: Theory. *Euphytica*, 47(3), 189–194. doi: 10.1007/BF00024241
36. Kilchevskiy, A. V., & Khotyleva, L. V. (1985). Method for genotypes adaptive ability and stability assessment and differentiating ability of environment. I. Grounds of the method. *Genetika* [Genetics], 21(9), 1481–1490. [in Russian]
37. Khangildin, V. V., & Litvinenko, N. A. (1981). Stability and adaptability of winter wheat varieties. *Nauchno-tehnicheskiiy byulleten VSGI* [Scientific and technical bulletin APBGI], 1, 8–14. [in Russian]
38. Purchase, J. L., Hatting, H., & van Deventer, C. S. (2000). Genotype × environment interaction of winter wheat (*Triticum aestivum* L.) in South Africa: II. Stability analysis of yield performance. *South Afric. J. Plant Soil.*, 17(3), 101–107. doi: 10.1080/02571862.2000.10634878

УДК 633.16:631.527:574

**Гудзенко В. Н.<sup>1\*</sup>, Демидов А. А.<sup>1</sup>, Полищук Т. П.<sup>1</sup>, Сардак Н. А.<sup>2</sup>, Ищенко В. А.<sup>3</sup>** Статистическая и AMMI оценка стабильности селекционных линий ячменя ярового в многосредовых испытаниях // Plant Varieties Studying and Protection. 2018. Т. 14, № 4. С. 347–357. <https://doi.org/10.21498/2518-1017.14.4.2018.151894>

<sup>1</sup>Мироновский институт пшеницы имени В. Н. Ремесла НААН Украины, ул. Центральная, 68, с. Центральное, Мироновский р-н, Киевская обл., 08853, Украина, \*e-mail: barley22@ukr.net

<sup>2</sup>Носовская селекционно-опытная станция Мироновского института пшеницы имени В. Н. Ремесла НААН Украины, ул. Мира, 1, с. Опытное, Носовский р-н, Черниговская обл., 17131, Украина

<sup>3</sup>Институт сельского хозяйства Степи НААН Украины, ул. Центральная, 2, Кировоградский р-н, Кировоградская обл., 27602, Украина

**Цель.** Оценить взаимодействие генотип–среда и выделить селекционные линии ячменя ярового с сочетанием потенциала урожайности и стабильности в многосредовых испытаниях. **Методы.** Двенадцать селекционных линий ячменя ярового и стандарт сорт ‘Взірець’ исследовали в трех различных экологических зонах Украины: Центральная Лесостепь, Полесье и Северная Степь. Для характеристики взаимодействия генотип–среда и дифференциации селекционных линий по урожайности и стабильности использовали ряд наиболее распространенных подходов: S. A. Eberhart, W. A. Russel (1966); G. Wricke (1962); C. S. Lin, M. R. Binns (1988); M. Huehn (1990); A. V. Кильчевский, Л. В. Хотылева (1985); В. В. Хангильдин, Н. А. Литвиненко (1981); J. L. Purchase et al. (2000). Графический анализ проводили с использованием АММИ модели. **Результаты.** Обнаружена сильная изменчивость урожайности селекционных линий, которая обуславливалась как экологическими, так и погодными условиями лет исследований. С помощью дисперсионного анализа обнаружены достоверные вклады в вариацию генотипа, среды и их взаимодействия. Доля условий среды существенно преобладала – 93,17%. Определена корреляция между урожайностью и показателями стабильности. Ряд параметров оценивает только стабильность без

учета уровня урожайности. Другие параметры довольно сильно связаны со средним уровнем урожайности, максимальным или минимальным её значением. Выделены селекционные линии ‘Нутанс 5152’, ‘Нутанс 4982’, ‘Нутанс 5069’ и ‘Нутанс 5093’ с оптимальным сочетанием потенциала урожайности и стабильности. Данные линии переданы в Украинский институт экспертизы сортов растений для проведения квалификационной экспертизы как новые сорта ячменя ярового ‘МІП Шарм’, ‘МІП Девіз’, ‘МІП Титул’ и ‘МІП Захисник’ соответственно. Ряд селекционных линий могут быть использованы в гибридизации как источники повышенного адаптивного потенциала для соответствующих экологических условий: Полесье – ‘Нутанс 5061’, Полесья и Лесостепи – ‘Нутанс 5081’ и ‘Нутанс 4966’, Северной Степи – ‘Дефіцієнс 5145’. **Выводы.** Проведение многосредовых экологических испытаний и анализ экспериментальных данных в сочетании со статистическими показателями и АММИ способствуют углубленной оценке взаимодействия генотип–среда и выделению лучших из лучших генотипов на завершающих этапах селекционной работы.

**Ключевые слова:** ячмень; селекционные линии; многосредовые испытания; взаимодействие генотип–среда; урожайность; стабильность; АММИ.

UDC: 633.16:631.527:574

**Hudzenko, V. M.<sup>1\*</sup>, Demydov, O. A.<sup>1</sup>, Polishchuk, T. P.<sup>1</sup>, Sardak M. O.<sup>2</sup>, & Ischenko, V. A.<sup>3</sup>** (2018) Statistical and AMMI evaluation of stability of spring barley breeding lines in multi-environment trials. *Plant Varieties Studying and Protection*, 14(4), 347–357. <https://doi.org/10.21498/2518-1017.14.4.2018.151894>

<sup>1</sup>The V. M. Remeslo Myronivka Institute of Wheat, NAAS of Ukraine, 68 Tsentralna St., Tsentralne, Myronivka district, Kyiv region, 08853, Ukraine, \*e-mail: barley22@ukr.net

<sup>2</sup>Nosivka Plant Breeding Experimental Station of the V. M. Remeslo Myronivka Institute of Wheat, NAAS of Ukraine, 1 Myru St., Doslidne, Nosivka district, Chernigiv region, 17131, Ukraine

<sup>3</sup>Institute of Agriculture of Steppe, NAAS of Ukraine, 2 Tsentralna St., Sozonivka, Kirovograd district, Kirovograd region, 27602, Ukraine

**Purpose.** Evaluate the genotype–environment interaction and identify the spring barley breeding lines with a combination of yield performance and stability in the multi-environment trials. **Methods.** Twelve barley breeding lines and standard variety ‘Vzirets’ were tested in three different ecological zones of Ukraine: Central Forest-Steppe, Polissia and Northern Steppe. To characterize the genotype–environment interaction and differentiate of breeding lines for yield and adaptability, a number of the most used methods were applied: S. A. Eberhart, W. A. Russel (1966); G. Wricke (1962); C. S. Lin, M. R. Binns (1988); M. Huehn (1990); A. V. Kilychevskiy, L. V. Khotyleva (1985); V. V. Khangildin, N. A. Litvinenko (1981); J. L. Purchase et al. (2000). Graphical analysis was performed with the AMMI model. **Results.** The high variation in the yield performance of spring barley breeding lines was revealed, which was determined both by the ecological and the weather conditions of the years of the research. The ANOVA revealed reliable contributions from all three source of the variation: genotype, environment and genotype–environment interaction. The part of influence for environment was the highest – 93.17%. The correlation between yield and individual stability indices was determined. Some indi-

ces estimated the stability only, without considering yield level. Other indices were related with the mean yield, with the maximum or minimum its limits. The breeding lines ‘Nutans 5152’, ‘Nutans 4982’, ‘Nutans 5069’ and ‘Nutans 5093’ with the optimal combination of yield performance and stability were identified. These breeding lines were transmitted to the Ukrainian Institute of Plant Varieties Examination for the qualification examination as new spring barley varieties ‘MIP Sharm’, ‘MIP Deviz’, ‘MIP Tytul’ and ‘MIP Zakhysnyk’, respectively. A number of breeding lines can be used in hybridization as a source of high adaptive potential for the suitable environmental conditions: Polissia – ‘Nutans 5061’, Polissia and Forest-Steppe – ‘Nutans 5081’ and ‘Nutans 4966’, Northern Steppe – ‘Deficiens 5145’. **Conclusions.** Conducting multi-environment trials and processing experimental data in combination with statistical indices and AMMI promotes an in-depth assessment of the genotype–environment interaction and the identification the best of the best genotypes at the final stages of breeding process.

**Keywords:** barley; breeding lines; multi-environment trials; genotype–environment interaction; yield performance; stability; AMMI.

Надійшла / Received 03.12.2018  
Погоджено до друку / Accepted 14.12.2018