

УДК 633.16:631.527:574

## ЕКОЛОГІЧНЕ СОРТОВИПРОБУВАННЯ ЯЧМЕНЮ ЯРОГО НА ЗАВЕРШАЛЬНОМУ ЕТАПІ СЕЛЕКЦІЇ

О.А. Демидов<sup>1</sup>, В.М. Гудзенко<sup>1</sup>, М.О. Сардак<sup>2</sup>, В.А. Іщенко<sup>3</sup>, О.С. Дем'янюк<sup>4</sup>

<sup>1</sup> Миронівський інститут пшениці імені В.М. Ремесла НААН

<sup>2</sup> Носівська селекційно-дослідна станція Миронівського інституту пшениці імені В.М. Ремесла НААН

<sup>3</sup> Кіровоградська державна сільськогосподарська дослідна станція НААН

<sup>4</sup> Інститут агроекології і природокористування НААН

*Наведено результати вивчення перспективних селекційних ліній ячменю ярого впродовж 2015–2017 рр. у трьох екологічних зонах України — Центральному Лісостепі (Миронівський інститут пшениці імені В.М. Ремесла НААН), Поліссі (Носівська селекційно-дослідна станція Миронівського інституту пшениці імені В.М. Ремесла НААН) та Північному Степу (Кіровоградська державна сільськогосподарська станція НААН). З використанням моделей АММІ та GGE biplot селекційні лінії ранжирувано за потенціалом урожайності та її стабільністю у мінливих умовах вирощування. Виділено номери з оптимальним поєднанням продуктивності та стабільності — Нутанс 4855, Нутанс 4941 та Дефіцієнс 5005. Обґрунтовано ефективність поєднання екологічних випробувань та статистично-графічного аналізу для виділення генотипів з підвищеним адаптивним потенціалом. Такий підхід доцільно використовувати на завершальних етапах селекційної роботи з детальнішої оцінки ліній-кандидатів для створення сортів.*

**Ключові слова:** ячмінь ярий, селекційні лінії, екологічне сортовипробування, врожайність, адаптивність, стабільність, моделі АММІ та GGE biplot.

Визначальну роль місця селекційної роботи щодо її результативності та адаптованості створених сортів до певних екологічних умов окреслено у публікаціях низки вітчизняних і зарубіжних вчених [1–7]. Поряд із тим для підвищення адаптивного потенціалу сільськогосподарських культур доцільно проводити екологічні дослідження на різних етапах селекційної роботи [8, 9]. Такий підхід має низку переваг. Зокрема, випробування генотипів у кількох екологічних середовищах дає можливість за однаковий період часу, як і випробування в одній ніші, отримати значно повнішу інформацію щодо врожайності та стабільності селекційного матеріалу. Практичним аспектом цього є визначення майбутнього

ареалу поширення створюваних сортів. Саме тому багатосередовищні випробування набувають дедалі більшого поширення у селекційній практиці [10–12].

Останнім часом для наочної та поглибленої оцінки взаємодії «генотип — середовище» у багатосередовищних випробуваннях широко використовують АММІ-модель [13, 14], що поєднує дисперсійний аналіз та сингулярний розподіл [15]. Дисперсія генотипів, середовищ та їх взаємодії відображається у двокомпонентному просторі графічною побудовою biplot [16].

Іншим розповсюдженим підходом графічного аналізу є модель GGE biplot, яку можна охарактеризувати як графічне відображення матричної мультиплікації [17–21]. Модель GGE biplot як доповнення до АММІ має низку функцій, що надають змогу детальніше характеризувати різні співвідно-

---

© О.А. Демидов, В.М. Гудзенко, М.О. Сардак, В.А. Іщенко, О.С. Дем'янюк, 2017

шення компонентів та їх взаємодію за сумісного використання цих підходів [22, 23].

Метою наших досліджень було випробування перспективних селекційних ліній ячменю ярого у різних екологічних зонах та виділення генотипів з оптимальним поєднанням продуктивного та адаптивного потенціалів.

### МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕНЬ

Об'єкт досліджень — дев'ять селекційних ліній ячменю ярого, створених у Миронівському інституті пшениці імені В.М. Ремесла НААН (МІП) та сорт Взірець, раніше прийнятий як Національний стандарт України. Лінії виділено за врожайністю сортовипробування МІП у 2015 р. Упродовж 2016–2017 рр. їх паралельно досліджували у трьох різних екологічних зонах: Центральному Лісостепі (МІП), Поліссі (Носівська селекційно-дослідна станція

МІП (НСДС)) та Північному Степу (Кіровоградська державна сільськогосподарська дослідна станція НААН (КДСГДС)). За 2015–2017 рр. отримано результати випробування ліній у семи середовищах. Досліди закладали методом повних рендомізованих блоків відповідно до загальноприйнятих методик [24, 25]. Статистичний аналіз експериментальних даних проводили у програмах Statistica 8.0 і Excel 2010. Для наочної інтерпретації взаємодії «генотип — середовище» використано моделі АММІ та GGE biplot [26]. Для дисперсійного аналізу АММІ-моделі застосували відповідний підхід [27].

### РЕЗУЛЬТАТИ ТА ЇХ ОБГОВОРЕННЯ

Рівень прояву врожайності селекційних ліній та стандарту Взірець за місцем проведення досліджень і роками (далі середовища) наведено у табл. 1.

Таблиця 1

Урожайність селекційних ліній ячменю ярого залежно від умов вирощування\*

Шифр	Назва сорту, № лінії	Установа і рік (шифр), урожайність, т/га							X
		МІП			НСДС		КДСГДС		
		2015 M15	2016 M16	2017 M17	2016 N16	2017 N17	2016 K16	2017 K17	
G1	Взірець — St	7,02	6,88	4,66	6,01	6,61	5,73	4,53	<b>5,92</b>
G2	Нутанс 4983	7,32	6,32	4,56	6,70	7,06	5,67	4,73	<b>6,05</b>
G3	Нутанс 4890	7,35	7,59	5,27	6,01	6,38	5,21	4,32	<b>6,02</b>
G4	Дефіцієнс 5005	7,63	7,88	5,20	6,73	6,55	5,66	4,20	<b>6,26</b>
G5	Нутанс 5006	7,67	5,39	4,56	5,20	7,03	4,28	4,22	<b>5,48</b>
G6	Нутанс 4941	7,74	7,78	5,42	7,07	7,01	5,16	4,56	<b>6,39</b>
G7	Нутанс 4693	7,12	6,74	4,75	6,28	6,01	4,99	4,26	<b>5,74</b>
G8	Нутанс 4855	7,57	7,41	5,37	6,80	7,15	5,69	4,12	<b>6,30</b>
G9	Нутанс 4867	7,34	6,52	4,92	5,65	6,23	4,86	4,36	<b>5,70</b>
G10	Паллідум 5023	8,35	6,34	4,25	5,85	6,87	5,59	3,71	<b>5,85</b>
<b>X</b>		<b>7,51</b>	<b>6,89</b>	<b>4,90</b>	<b>6,23</b>	<b>6,69</b>	<b>5,28</b>	<b>4,30</b>	<b>5,97</b>
max		8,35	7,88	5,42	7,07	7,15	5,73	4,73	<b>6,39</b>
min		7,02	5,39	4,25	5,20	6,01	4,28	3,71	<b>5,48</b>
$R_{(max-min)}$		1,33	2,49	1,17	1,87	1,14	1,45	1,02	<b>0,91</b>
НІР <sub>05</sub>		0,23	0,31	0,33	0,45	0,22	0,19	0,41	<b>0,31</b>

Примітка\*: X — середнє, max — максимальнє, min — мінімальнє значення у досліді;  $R_{(max-min)}$  — різниця між максимальним і мінімальним значенням у досліді.

Варіювання у досліді середнього рівня врожайності між середовищами становить – 3,21 т/га: з найвищим значенням у М15 (7,51 т/га), найнижчим – у К17 (4,30 т/га). Різниця між максимальним і мінімальним рівнем урожайності ліній у межах середовищ варіювала від 2,49 (М16) до 1,02 т/га (К17), що істотно переважало НІР<sub>05</sub> (0,19–0,41 т/га). Отже, кожного року були виявлені достовірні відмінності за рівнем прояву врожайності між дослідженими генотипами.

Результати дисперсійного аналізу АММІ-моделі засвідчили абсолютну перевагу частки вкладу у загальній варіації умов середовища – 83,95% (табл. 1). Значно нижчим був ефект від взаємодії «генотип – середовище» – 10,56% та генотипу – 5,49%. Отримані результати свідчать про значну варіабельність показників врожайності за зміни умов середовища. Своєю чергою це може вказувати на те, що виділені генотипи матимуть доволі високий рівень гомеостазу під час формування врожайності за контрастних умов.

Модель АММІ1 biplot відображає головні адитивні ефекти генотипів і середо-

вищ (за горизонтальною віссю) та мультиплікативні ефекти взаємодії «генотип – середовище» (за вертикальною віссю). Так, можемо констатувати про існування дисперсії генотипів і середовищ за середнім рівнем урожайності. Вертикальна лінія, що проходить через центр biplot, інформує про середній рівень врожайності сортів у всіх середовищах (рис. 1). Зображення на рис. 2 (АММІ2) надає змогу візуалізувати мультиплікативні ефекти взаємодії «генотип – середовище» у просторі перших двох головних компонент.

Репрезентативність та диференційну здатність середовищ GGE biplot-моделі наведено на рис. 3. Лінією, що проходить через середину GGE biplot, відображено середню вісь середовищ. Стрілкою в малому колі на ній помічено середнє розрахункове середовище. Пунктирні лінії, що з'єднують центр GGE biplot з роками випробувань, є векторами середовищ. Кут між середньою віссю середовищ та вектором конкретного середовища характеризує його репрезентативність. Чим менший кут, тим вища репрезентативність.

Таблиця 2

**Результати дисперсійного аналізу врожайності селекційних ліній ячменю (АММІ-модель)\***

FACTORS	SS	PERCENT	DF	MS	F
ENV	246,03	83,95	6	41,00	1161,62**
GEN	16,09	5,49	9	1,79	50,66**
ENV·GEN	30,95	10,56	54	0,57	16,24**
PC1	16,07	51,93	14	1,15	36,12**
PC2	5,58	18,03	12	0,46	14,63**
PC3	4,91	15,86	10	0,49	15,45**
PC4	2,88	9,30	8	0,36	11,32**
PC5	1,20	3,87	6	0,20	6,28
PC6	0,31	1,02	4	0,08	2,48
PC7	0,00	0,00	2	0,00	0,00
Residuals	4,94	0	140	0,04	–

*Примітка\**: ENV – середовище, GEN – генотип, ENV·GEN – взаємодія «генотип – середовище», SS – сума квадратів, PERCENT – частка вкладу у варіацію, %; DF – число ступенів свободи, MS – середній квадрат, F – критерій Фішера, PC1... PC7 – головні компоненти; \*\* – достовірно на 0,01%-му рівні значущості.

Найбільш репрезентативним було середовище N16, найменш — M15 та K17. Довжина вектора конкретного середовища характеризує його диференційну здатність. Чим довший вектор, тим сильніша диференційна здатність. Наразі найвища диференційна здатність (інформативність) спостерігається за середовищем M16, найнижча — за K17. Слід наголосити, що середовище N16 поєднувало максимальну репрезентативність і підвищену диференційну здатність.

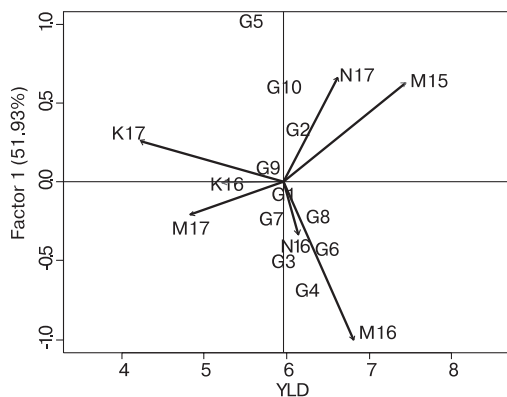
Величина кута між окремими середовищами характеризує їх подібність або відмінність щодо рівня прояву врожайності ліній як загалом, так і у відношенні одного до іншого. Чим менший кут між двома векторами, тим подібніші середовища за рівнем прояву врожайності у досліджених генотипів, і навпаки, чим більший кут, тим сильніша їх розбіжність. Так, найвіддаленішими між собою є середовища M15 та K17. Слід відзначити доволі близьке розташування середовищ M16 та M17, різниця між якими за середньою врожайністю у досліді становила 2,61 т/га; і значну віддаленість середовищ M15 та M16, які, поряд із тим, мали найвищу середню врожайність у досліді — 7,51 і 6,89 т/га відповідно.

На рис. 4 GGE biplot відображає «хто де переміг». На вершинах кутів полігональної фігури відтворено найвіддаленіші від

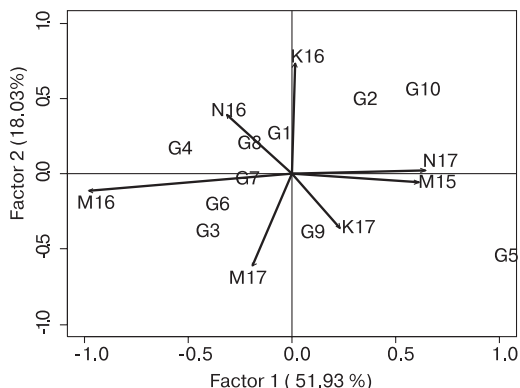
основи biplot генотипи. Ці генотипи є найкращими/найгіршими в одному або низці середовищ. Лініями, що відходять з центру biplot, площина розподілена на сектори, в яких розміщено середовища та генотипи.

Аналіз даних свідчить, що генотипи G4, G6, G8 були оптимальними в середовищах M16, N16, K16; генотипи G2, G10 були більш адаптованими до середовищ M15, N17; істотно поступалась у більшості середовищ лінія G5.

Модель GGE biplot характеризує генотипи за поєднанням середньої врожайності та стабільності (рис. 5). Вісь, що перетинає центр GGE biplot у горизонтальній площині, є середньою для середовищ абсцисою. У вертикальному напрямі середню для середовищ абсцисою перетинає середня для середовищ ордината. Місце перетину одночасно репрезентує середнє значення врожайності у досліді. Віддаленість генотипів від осі абсцис відносно осі ординат в обох напрямках характеризує варіабельність за роками щодо очікуваного рівня прояву в конкретних середовищах. Чим ближче розміщуються генотипи до осі, тим вони є стабільнішими. Тобто стабільними були генотипи G1, G8, G9. Найбільш варіювали за врожайністю лінії G5 та G10. Нагадаємо, що лінія G5 мала найнижчу середню врожайність з-поміж усіх досліджених ліній.



**Рис. 1.** AMMI1 biplot — розподіл генотипів і середовищ у координатах: середня врожайність (YLD) — головна компонента 1 (Factor 1)



**Рис. 2.** AMMI2 biplot — розподіл селекційних ліній і середовищ у координатах перших двох головних компонент

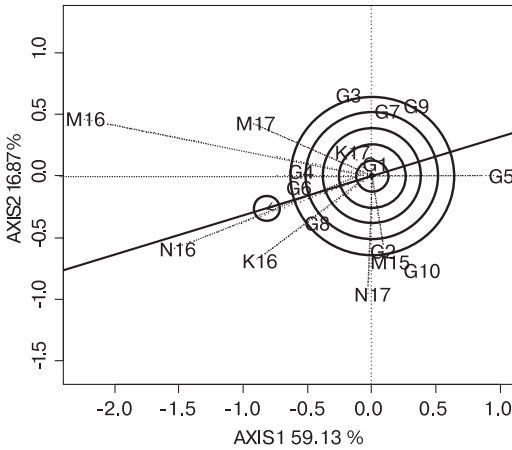


Рис. 3. GGE biplot диференційні здатності та репрезентативності середовищ

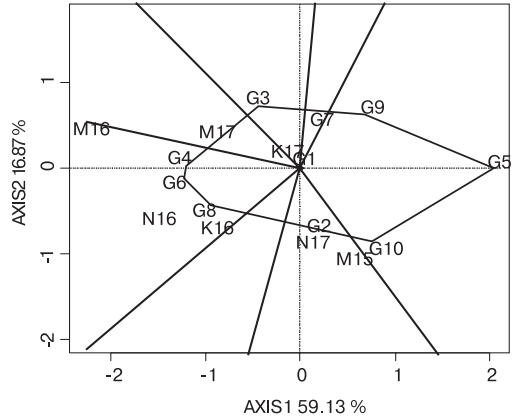


Рис. 4. Модель GGE biplot «хто де переміг»

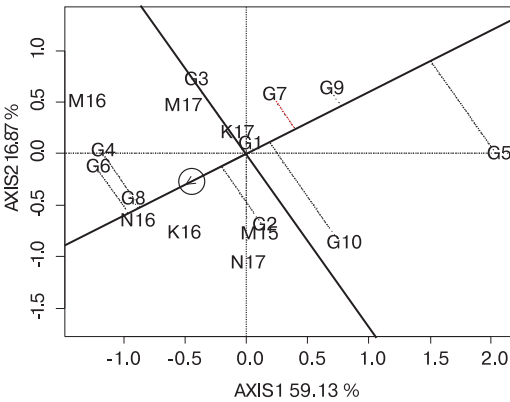


Рис. 5. Модель GGE biplot — середньосередовищна координація селекційних ліній за середньою врожайністю та стабільністю

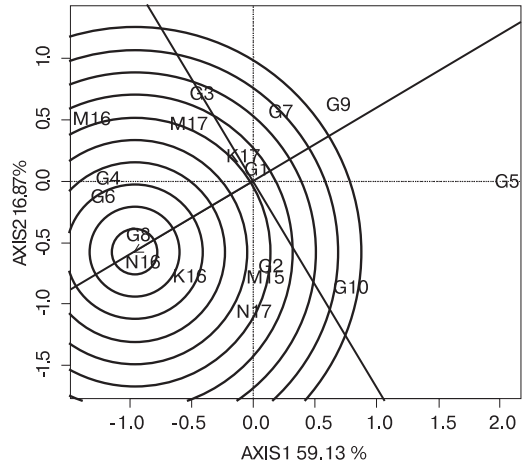


Рис. 6. GGE biplot — ранжирування селекційних ліній ячменю ярого за «ідеальним» генотипом, 2012–2016 рр.

Ранжирування ліній за гіпотетичним «ідеальним» генотипом, який теоретично повинен розташовуватись у середині центричних кіл, свідчить про максимальну наближеність до нього лінії G8 (Нутанс 4855) (рис. 6).

Тобто лінія G8 найбільш оптимально поєднує рівень та стабільність врожайності у різних середовищах. Окрім неї, слід виділити лінії G6 (Нутанс 4941) та G4 (Дефіцієнс 5005), які дещо поступалися G8 за стабільністю, але за середньою врожайністю були на рівні (G4) або дещо переважали її.

Найменш придатною у цьому наборі генотипів виявилась лінія G5, яка мала як найнижчу середню врожайність, так і високу варіабельність. Лінія G9, яку ми визначали як відносно стабільну, поступалась іншим за середнім рівнем урожайності.

## ВИСНОВКИ

Сортовипробування у кількох відмінних за екологічними умовами зонах на завершальних етапах селекційної роботи (паралельно з конкурсним) дають змогу за короткий період часу отримати повнішу

інформацію щодо продуктивного та адаптивного потенціалу селекційних ліній-кандидатів у сорти.

Статистично-графічні підходи (АММІ, GGE biplot) інтерпретації експериментальних даних багатосередовищних випробувань сприяють більш наочній і детальній

характеристиці взаємодії «генотип — середовище» та ранжируванню генотипів.

З використанням наведених підходів виділено селекційні лінії з оптимальним поєднанням продуктивності та стабільності — Нутанс 4855, Нутанс 4941 та Дефіцієнс 5005.

## ЛІТЕРАТУРА

1. *Жученко А.А.* Экологическая генетика культурных растений и проблемы агросферы (теория и практика) / А.А. Жученко. — М.: ООО Изд-во Агрорус, 2004. — Т. 1. — 690 с.
2. Адаптивная селекция. Теория и технология на современном этапе / [П.П. Литун, В.В. Кириченко, В.П. Петренко, В.П. Коломацкая]. — Х., 2007. — 263 с.
3. *Литвиненко М.А.* Зернові культури. Стан та перспективи створення нових сортів і гібридів у наукових установах УААН / М.А. Литвиненко, О.І. Рибалка // Насінництво. — 2007. — № 1. — С. 3–6.
4. *Сурин Н.А.* Селекция ячменя на адаптивность в Восточной Сибири / Н.А. Сурин, Н.Е. Ляхова // Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции. — СПб.: ВИР, 2009. — Т. 165. — С. 56–61.
5. *Abay F.* Specific adaptation of barley varieties in different locations in Ethiopia / F. Abay, A. Bjornstad // Euphytica. — 2009. — Vol. 167. — P. 181–195.
6. Quantitative trait loci associated with adaptation to Mediterranean dryland conditions in barley / M. von Korff, S. Grando, A. Del Greco et al. // Theor Appl Genet. — 2008. — Vol. 117. — P. 653–669.
7. *Macholdt J.* Impact of climate change on cultivar choice: adaptation strategies of farmers and advisors in German cereal production [Електронний ресурс] / J. Macholdt, В. Honermeier // Agronomy. — 2016. — Vol. 6 (40). — Режим доступу: <http://www.mdpi.com/journal/agronomy>
8. Метод оценки гомеoadaptивности в системе экологической селекции яровой мягкой пшеницы: Методические рекомендации / [В.В. Сюков, В.Г. Захаров, В.Г. Кривобочек и др.]. — Самара: СамНЦ РАН, 2008. — 18 с.
9. *Ващенко В.В.* Экологическое сортоиспытание как этап адаптивной селекции ячменя ярового / В.В. Ващенко // Вісник ЦНЗ АПВ Харківської області. — 2010. — Вип. 9. — С. 35–39.
10. Продуктивность сортов ячменя ярового в экологическом сортоиспытании / П.Н. Солонечный, М.Р. Козаченко, Н.И. Васько и др. // Зернобобовые и крупяные культуры. — 2014. — № 4 (12). — С. 96–99.
11. Стабільність елементів продуктивності сортів ячменю ярого в екологічному випробуванні / П.М. Солонечний, М.Р. Козаченко, Н.І. Васько та ін. // Селекція і насінництво. — 2014. — Вип. 105. — С. 194–203.
12. Адаптивні особливості сортів ячменю ярого за урожайністю та вмістом білка в зерні / П.М. Солонечний, М.Р. Козаченко, Н.І. Васько та ін. // Вісник ЦНЗ АПВ Харківської області. — 2014. — Вип. 16. — С. 225–231.
13. *Kilic H.* Additive main effects and multiplicative interactions (AMMI) analysis of grain yield in barley genotypes across environments / H. Kilic // Journal of agricultural sciences. — 2014. — Vol. 20. — P. 337–344.
14. AMMI model to analyse GxE for dual purpose barley in multi-environment trials / R.P.S. Verma, A.S. Kharab, J. Singh et al. // Agric. Sci. Digest. — 2016. — Vol. 36, No. 1. — P. 9–16.
15. Statistical analysis of yield trials by AMMI analysis of genotype x environment interaction / K. Hongyu, M. Garcia-Pena, L.B. de Araujo, C.T. dos Santos Dias // Biometrical letters. — 2014. — Vol. 51, No. 2. — P. 89–102.
16. *Gabriel K.R.* The biplot graphic display of matrices with application to principal components analysis / K.R. Gabriel // Biometrika. — 1971. — Vol. 58. — P. 453–467.
17. *Yan W.* Biplot analysis of multi-environment trial data: Principles and applications / W. Yan, N.A. Tinker // Canadian journal of plant science. — 2006. — Vol. 86, No. 3. — P. 623–645.
18. *Jalata Z.* GGE-biplot analysis of multi-environment yield trials of barley (*Hordeum vulgare* L.) genotypes in Southeastern Ethiopia Highlands / Z. Jalata // International journal of plant breeding and genetics. — 2011. — Vol. 5, No. 1. — P. 59–75.
19. Identifying superior feed barley genotypes using GGE biplot for diverse environments in India / B. Sarkar, R.C. Sharma, R.P.S. Verma et al. // Indian J. Genet. — 2014. — Vol. 74, No. 1. — P. 26–33.
20. Application of GGE biplot analysis to investigate GE interaction on barley grain yield / M. Mohammedi, A.A. Noorinia, G.R. Khalilzadeh, T. Hosseinpoo // Current opinion in agriculture. — 2015. — Vol. 4, No. 1. — P. 25–32.
21. GGE biplot взаємодії генотип — середовище сортів ячменю ярого / П.М. Солонечний, М.Р. Козаченко, Н.І. Васько та ін. // Селекція і насінництво. — 2014. — Вип. 106. — С. 93–102.
22. GGE biplot and AMMI analysis of yield performance of barley genotypes across different environments in Iran / S.M.M. Mortazavian, H.R. Nikkhab, F.A. Hassani et al. // J. Agr. Sci. Tech. — 2014. — Vol. 16. — P. 609–622.
23. *Ahmadi J.* Graphical analysis of multi-environment trials for barley yield using AMMI and GGE-biplot



- under rain-fed conditions / J. Ahmadi, B. Vaezi, M.H. Fotokian // *Journal of plant physiology and breeding*. — 2012. — Vol. 2, No. 1. — P. 43–54.
24. Методика проведення експертизи та державного сортопробування сортів рослин зернових, круп'яних та зернобобових культур // Охорона прав на сорти рослин: офіц. бюлетень / гол. ред. В.В. Волкодав. — К.: Алефа, 2003. — Вип. 2, Ч. 3. — 241 с.
25. Доспехов Б.А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований) / Б.А. Доспехов. — М.: Агропромиздат, 1985. — 351 с.
26. *Frutos E.* An interactive biplot implementation in R for modeling genotype-by-environment interaction / E. Frutos, M.P. Galindo, V. Leiva // *Stoch. Environ. Res. Risk. Assess.* — 2014. — Vol. 28. — P. 1629–1641.
27. *Gollob H.F.* A statistical model which combines feature of factor analytic and analysis of variance techniques / H.F. Gollob // *Psychometrika*. — 1968. — Vol. 33. — P. 73–115.

## REFERENCES

1. Zhuchenko, A.A. (2004). *Ekolohyicheskaya henetyka kul'turnykh rastenyu y problemy ahrosferiy (teoriya y praktyka)* [Ecological genetics of cultivated plants and problems of the agrosphere (theory and practice)]. Moskva: OOO Yzd-vo Ahrorus [in Russian].
2. Litun, P.P., Kirichenko, V.V., Petrenkova, V.P., Kolomatskaya, V.P. (2007). *Adaptivnaya selektsiya. Teoriya i tekhnologiya na sovremennom etape* [Adaptive Plant Breeding. Theory and Technology at the current stage]. Kharkiv [in Russian].
3. Lytvynenko, M.A., Rybalka, O.I. (2017). Zernovi kultury. Stan ta perspektyvy stvorennia novykh sortiv i hibrydiv u naukovykh ustanovakh UAAN [Cereal Crops. The state and prospects for development of new varieties and hybrids at the scientific institutions of the Ukrainian Academy of Agrarian Sciences]. *Nasinnystvo — Seed production*, 1, 3–6 [in Ukrainian].
4. Surin, N.A., Lyakhova, N.E. (2009). Seleksiya yachmenya na adaptivnost' v Vostochnoy Sibiri [Barley breeding for adaptability in the Eastern Siberia]. *Trudy po prikladnoy botanike, genetike i selektsii — Proceedings on Applied Botany, Genetics and Breeding*, 165, 56–61 [in Russian].
5. Abay, F., Bjornstad, A. (2009). Specific adaptation of barley varieties in different locations in Ethiopia. *Euphytica*, 167, 181–195 [in English].
6. Von Korff, M., Grando S., Del Greco A., This D., Baum, M., Ceccarelli, S. (2008). Quantitative trait loci associated with adaptation to Mediterranean dryland conditions in barley. *Theor Appl Genet*, 117, 653–669 [in English].
28. Macholdt, J., Honermeier, B. (2016). Impact of climate change on cultivar choice: adaptation strategies of farmers and advisors in German cereal production. *Agronomy*, 6 (40). Retrieved from <http://www.mdpi.com/journal/agronomy> [in English].
7. Syukov, V.V., Zakharov, V.G., Krivobochek, V.G. i dr. (2008). *Metod otsenki gomeoadaptivnosti v sisteme ekologicheskoy selektsii yarovoy myagkoy pshenitsy: Metodicheskie rekomendatsii* [Method of estimation of homeoadaptivity in system of ecological spring wheat breeding: Methodical recommendations]. Samara: SamNTc RAN [in Russian].
8. Vashchenko, V.V. (2010). Ekologicheskoe sortoispytanie kak etap adaptivnoy selektsii yachmenya yarovogo [Ecological strain testing as a stage of adaptive spring barley breeding]. *Visnyk TsNZ APV Kharkivskoi oblasti — Bulletin of the Center for Science Provision of Agribusiness in the Kharkiv region*, 9, 35–39 [in Russian].
9. Solonechnyy, P.N., Kozachenko, M.R., Vasko, N.I., Naumov, A.G., Vazhenina, O.E., Solonechnaya, O.V. (2014). Produktivnost sortov yachmenya yarovogo v ekologicheskom sortoispytanii [Productivity in spring barley varieties under ecological testing]. *Zernovye i krupyanye kul'tury — Legumes and groat crops*, 4(12), 96–99 [in Russian].
10. Solonechnyy, P.M., Kozachenko, M.R., Vasko, N.I., Naumov, O.H., Dmitrenko, P.P., Kovalenko, O.L. (2014). Stabilnist elementiv produktyvnosti sortiv yachmeniu yarohto v ekolohichnomu vyprobuvanni [Stability of productivity elements in spring barley varieties under ecological testing]. *Selektsiia i nasinnystvo — Plant breeding and seed production*, 105, 194–203 [in Ukrainian].
11. Solonechnyy, P.M., Kozachenko, M.R., Vasko, N.I., Naumov, O.G., Dmitrenko, P.P., Kovalenko, O.L. (2014). Adaptivni osoblyvosti sortiv yachmeniu yarohto za urozhainistiu ta vmistom bilka v zerni [Adaptive peculiarities of spring barley varieties by yield capacity and protein content in grain]. *Visnyk TsNZ APV Kharkivskoi oblasti — Bulletin of the Center for Science Provision of Agribusiness in the Kharkiv region*, 16, 225–231 [in Ukrainian].
12. Kilib, H. (2014). Additive main effects and multiplicative interactions (AMMI) analysis of grain yield in barley genotypes across environments. *Journal of agricultural sciences*, 20, 337–344 [in English].
13. Verma, R.P.S., Kharab, A.S., Singh, J., Kumar, V., Sharma, I., Verma, A. (2016). AMMI model to analyse GxE for dual purpose barley in multi-environment trials. *Agric. Sci. Digest.*, 36 (1), 9–16 [in English].
14. Hongyu, K., Garcia-Pena, M., de Araujo, L.B., dos Santos Dias, C.T. (2014). Statistical analysis of yield trials by AMMI analysis of genotype x environment interaction. *Biometrical letters*, 51 (2), 89–102 [in English].
15. Gabriel, K.R. (1971). The biplot graphic display of matrices with application to principal components analysis. *Biometrika*, 58, 453–467 [in English].
16. 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 [in English].