

УДК 633.16:631.559:551.508

**АММІ ТА GGE BIPLLOT АНАЛІЗ БАГАТОРІЧНИХ ДАНИХ
УРОЖАЙНОСТІ ЯЧМЕНЮ ОЗИМОГО У ЦЕНТРАЛЬНОМУ
ЛІСОСТЕПУ УКРАЇНИ**

В. М. ГУДЗЕНКО, кандидат сільськогосподарських наук, старший науковий співробітник,

С. П. ВАСИЛЬКІВСЬКИЙ, доктор сільськогосподарських наук, професор

Миронівський інститут пшениці імені В. М. Ремесла НААН

E-mail: barleys@mail.ru

***Анотація.** Наведено результати багаторічних (2011/2012-2015/2016 рр.) досліджень у Миронівському інституті пшениці імені В. М. Ремесла НААН 29 сортів ячменю озимого різних періодів селекційної роботи, які різняться за походженням, систематичними, біологічними та морфологічними ознаками. Уперше для Центрального Лісостепу України з використанням АММІ та GGE biplot моделей проведено поглиблену оцінку взаємодії «генотип – середовище» урожайності генотипів ячменю озимого. Показано перевагу сучасних сортів за продуктивним та адаптивним потенціалами, порівняно із сортами, створеними у 80-х – на початку 90-х років ХХ ст. Виділено сорти з найбільш оптимальним поєднанням середньої врожайності та її рівня прояву за роками: багаторядні – Cartel, Паладін Миронівський; дворядний – Атлант Миронівський. Їх рекомендовано використовувати у селекційній роботі як цінні генетичні джерела для створення нового вихідного матеріалу ячменю озимого з підвищеною адаптивністю до даної екологічної зони. Сорти внесені до Держреєстру України – Паладін Миронівський і Атлант Миронівський слід впроваджувати для вирощування у Центральному Лісостепу України.*

***Ключові слова:** ячмінь, врожайність, стабільність, взаємодія «генотип – середовище», АММІ, GGE biplot*

Актуальність. Збільшення посівних площ та розширення географії вирощування ячменю озимого в Лісостепу України, яке має місце в останнє десятиліття, вимагає необхідності проведення ґрунтовних досліджень з оцінки різних генотипів у відносно «нових» екологічних умовах порівняно з традиційними для вирощування цієї культури південними областями Степу.

Для аналізу взаємодії «генотип – середовище» останнім часом значного поширення набули підходи, які поряд із розрахунком математично-статистичних показників дозволяють візуалізувати розподіл генотипів та середовищ у 2D або 3D

просторах. Однією з таких моделей оцінки взаємодії «генотип – середовище» на основі багатосередовищних (multi-environment trials) випробувань є АММІ (additive main effects and multiplicative interaction) аналіз, який поєднує адитивні компоненти головних ефектів генотипів та середовищ і мультиплікативні компоненти ефектів їх взаємодії [1, 2]. Для ячменю АММІ аналіз апробовано у різних екологічних умовах [3-7]. Показано також ефективність даної моделі для оцінки багаторічних (multi-year trials) випробувань сортів ячменю озимого в одній екологічній ніші [8].

GGE biplot – відносно новий підхід, оснований на графічному розподілі генотипів і середовищ у просторі головних компонент. Він дозволяє більш детально оцінити перевагу генотипів у відповідних середовищах, репрезентивну здатність останніх, поєднання середньої врожайності та стабільності, а також ранжирування фактичних даних по відношенню до розрахункових «ідеальних» генотипів чи середовищ, тощо [9]. GGE biplot достатньо широко застосовується для оцінки сортів і вихідного матеріалу зернових культур, у тому числі ячменю [10-12]. Існують публікації, присвячені порівняльній оцінці АММІ та GGE biplot моделей [13]. Водночас низка дослідників поєднують ці два підходи для детальнішого аналізу експериментальних даних [14-16].

Мета досліджень – дослідити рівень продуктивності і стабільності сортів ячменю озимого у Центральному Лісостепу України та виділити генотипи з оптимальним їх поєднанням.

Матеріали та методи досліджень. Польові дослідження проводили у селекційній сівозміні МІП у 2011/2012 – 2015/2016 вегетаційних роках відповідно до загальноприйнятих методик [17, 18]. Об'єкт дослідження – варіювання урожайності і стабільності у взаємодії «генотип – середовище» 29 сортів різного екологічного походження, які репрезентують різні періоди селекційної роботи. Зокрема, сорти внесені у Держреєстр України до 2000 року – Бемір 2, Радон, Миронівський 87, Паллідум 77 (МІП); Одеський 165, Росава, Тамань, Основа та Манас (СГІ-НЦНіС); Онега і Югодар (Кримська ДСДС НААН), Циклон (Краснодарський НДІСГ ім. П. П. Лук'яненко); Кромоз, Лухор (Чехія); сорти МІП,

що проходили сортовипробування, але не були внесені до Держреєстру – Миронівський 93 та Рицар; сорти МПП внесені у Держреєстр за період 2006 – 2010 рр. – Борисфен, Ковчег, Сейм, Тутанхамон, Зубен, Жерар (Національний стандарт України з 2011 р.); нові сорти МПП (у Реєстрі з 2014 року) – Атлант Миронівський та Паладін Миронівський; сучасні західноєвропейські сорти – Salamandra, Cartel, Nektaria (Франція); Wintmalt, Mascara (Німеччина). Досліджені генотипи також різняться за систематичними ознаками (багаторядні та дворядні (Атлант Миронівський, Salamandra, Nektaria, Wintmalt, Mascara)), типом розвитку (типово озимі та дворучки (Одеський 165, Росава, Тамань, Основа, Ковчег, Сейм, Тутанхамон, Зубен)), тривалістю вегетації, висотою рослин тощо. Повторність триразова.

Для АММІ та GGE biplot аналізу використали пакет прикладних програм, побудованих на R – програмуванні (<http://www.r-project.org>). Основні принципи та відмінності даного безкоштовного програмного забезпечення по відношенню до комерційного GGE biplot software (<http://www.ggebiplot.com>) висвітлені у публікації E. Frutos та ін. [19].

Результати досліджень та їх обговорення. Представлений у таблиці 1 гідротермічний режим 2011/2012 – 2015/2016 рр. демонструє суттєві коливання середньодобових температур повітря і кількості опадів за роками в окремі міжфазні періоди та вегетацію ячменю озимого в цілому. Серед особливостей окремих років слід відмітити нестачу опадів від відновлення вегетації до колосіння та підвищені температури повітря у 2012 – 2013 рр. У свою чергу 2013/2014 – 2015/2016 рр. характеризувались підвищеною кількістю опадів у період від колосіння до дозрівання, що спричинювало сильний ступінь вилягання ячменю озимого. Останнє, в свою чергу, суттєво позначалось на підсумковому рівні врожайності схильних до цього явища сортів.

1. Гідротермічний режим вегетаційного періоду ячменю озимого

Веgetаційний рік	Середньодобова температура повітря, °С					Кількість опадів, мм					
	ССх	СхП	ПВ	ВК	КД	ССх	СхП	ПВ	ВК	КД	СД
2011/2012	11,7	4,3	-2,1	14,9	19,9	70,4	5,8	152,7	71,6	63,2	363,7
2012/2013	16,7	9,2	-1,5	15,8	20,2	0,8	68,1	344,9	18,0	96,0	527,8
2013/2014	8,8	9,1	-1,3	10,1	18,8	0,0	13,2	54,3	91,2	142,0	300,7
2014/2015	9,2	6,4	0,1	12,2	19,5	0,0	35,6	183,6	43,7	123,9	386,8
2015/2016	7,2	4,3	-0,3	12,7	17,9	0,5	88,9	159,8	72,6	136,9	458,7
X	11	7	-1	13	19	14	42	179	59	112	408
<i>Max</i>	16,7	9,2	0,1	15,8	20,2	70,4	88,9	344,9	91,2	142	527,8
<i>Min</i>	7,2	4,3	-2,1	10,1	17,9	0	5,8	54,3	18	63,2	300,7
R(max-min)	9,5	4,9	2,2	5,7	2,3	70,4	83,1	290,6	73,2	78,8	227,1

Примітка: тут і далі: ССх – сівба-сходи; СхП – сходи-припинення вегетації; ПВ – припинення-відновлення вегетації; ВК – відновлення вегетації-колосіння; КД – колосіння-дозрівання; СД – сівба-дозрівання; X, min, max – середнє, мінімальне і максимальне значення, відповідно; R(max-min) – розмах варіювання.

Середнє значення тривалості міжфазних періодів і вегетації в цілому дослідженої вибірки сортів наведено у таблиці 2. Помітно, що особливості гідротермічних умов окремих років суттєво позначались на тривалості проходження певних періодів росту і розвитку рослин.

2. Тривалість міжфазних та вегетаційного періоду ячменю озимого

Веgetаційний рік	Тривалість періодів, дів					
	ССх	СхП	ПВ	ВК	КД	СД
2011/2012	12	20	151	43	41	267
2012/2013	7	41	148	39	39	274
2013/2014	11	43	106	64	43	267
2014/2015	13	35	145	43	41	277
2015/2016	10	75	92	45	45	267
X	11	43	128	47	42	270
<i>Max</i>	13	75	151	64	45	277
<i>Min</i>	7	20	92	39	39	267
R(max-min)	6	55	59	25	6	10

Зведено по повтореннях урожайність досліджених сортів у 2012-2016 рр. та їх шифрування для подальшого аналізу наведено в таблиці 3. Найвища середня по досліді врожайність відмічена в 2015 р. – 6,38 т/га, найнижча в 2014 р. – 4,44 т/га. Розмах варіювання врожайності між окремими сортами залежно від року становив 2,07-2,85 т/га. Це вказує на суттєву різницю між дослідженими генотипами за продуктивним потенціалом та його реалізацією в конкретних умовах року.

3. Урожайність генотипів ячменю озимого, т/га

Назва сорту	Шифр	2012	2013	2014	2015	2016	X
Туганхамон	G1	5,71	4,98	4,50	6,35	5,56	5,42
Жерар	G2	5,74	4,99	4,55	6,16	6,25	5,54
Сейм	G3	5,87	4,54	4,21	6,47	4,89	5,20
Борисфен	G4	5,15	4,15	4,74	6,62	5,87	5,31
Основа	G5	5,78	4,97	4,23	6,25	5,58	5,36
Паллідум 77	G6	4,82	4,86	4,92	6,09	4,97	5,13
Миронівський 87	G7	5,35	4,96	4,43	6,87	5,81	5,48
Миронівський 93	G8	5,32	5,11	4,84	6,35	6,00	5,52
Онега	G9	4,94	4,58	4,25	6,44	4,20	4,88
Ковчег	G10	4,69	4,46	3,77	6,49	6,05	5,09
Kromoz	G11	5,10	4,46	4,73	6,04	6,00	5,27
Циклон	G12	4,83	4,65	4,19	6,70	5,23	5,12
Лухог	G13	4,89	4,35	4,40	6,85	5,89	5,28
Рицар	G14	4,90	4,08	3,50	6,77	5,89	5,03
Одеський 165	G15	5,42	4,24	4,16	6,07	5,13	5,00
Манас	G16	5,26	4,52	4,16	6,14	5,62	5,14
Зубен	G17	5,34	4,63	4,25	6,04	5,70	5,19
Росава	G18	4,61	3,65	4,00	5,81	4,67	4,55
Югодар	G19	5,05	4,87	4,03	6,07	4,76	4,96
Тамань	G20	4,58	4,87	4,21	6,23	5,55	5,09
Радон	G21	4,03	3,16	4,22	6,40	5,47	4,66
Бемір 2	G22	4,37	3,30	3,57	5,44	4,70	4,28
Wintmalt	G23	5,00	3,94	4,60	5,74	5,72	5,00
Nektaria	G24	5,39	4,59	4,31	6,47	6,18	5,39
Mascara	G25	5,77	4,17	4,94	6,63	5,53	5,41
Cartel	G26	6,47	5,51	5,64	7,51	7,05	6,44
Salamandra	G27	5,63	4,28	4,97	6,51	6,29	5,54
Паладін Миронівський	G28	6,75	5,15	5,20	6,96	6,52	6,12
Атлант Миронівський	G29	6,07	5,28	5,12	6,65	6,44	5,91
X	-	5,27	4,53	4,44	6,38	5,64	5,25
<i>Max</i>	-	6,75	5,51	5,64	7,51	7,05	6,44
<i>Min</i>	-	4,03	3,16	3,50	5,44	4,20	4,28
R(max-min)	-	2,72	2,35	2,14	2,07	2,85	2,16

Дисперсійний аналіз АММІ моделі засвідчив найсуттєвіший внесок у дисперсію умов середовища (64,7 %) (табл. 4). Генотип та взаємодія «генотип – середовище» мали суттєво нижчий ефект – відповідно 22,4 % і 12,9 %. Розклад взаємодії «генотип-середовище» на головні компоненти, засвідчив, що перші дві з них (PC1, PC2) пояснюють 64,5 % її варіювання.

4. Результати дисперсійного аналізу АММІ моделі врожайності ячменю озимого, 2012 – 2016 рр.

Фактори	SS	PORCENT	DF	MS	F*
ENV	227,96791	64,64947	4	56,99198	1604,31695
GEN	79,10228	22,43263	28	2,82508	79,52569
ENV*GEN	45,55129	12,9179	112	0,40671	11,44878
PC1	18,46537	40,53754	31	0,59566	19,30859
PC2	10,9217	23,97671	29	0,37661	12,20799
PC3	9,06123	19,89237	27	0,3356	10,87863
PC4	7,10299	15,59338	25	0,28412	9,20988

Примітка: ENV – середовище, GEN – генотип, ENV*GEN – взаємодія «генотип-середовище», SS – сума квадратів, PORCENT – частка вкладу у варіацію, %; DF – число ступенів свободи, MS – середній квадрат, F – критерій, PC1...PC4 – головні компоненти; *достовірно на 0,01 % рівні значимості.

На рисунку 1 представлено так званий АММІ1 biplot, що репрезентує варіансу головних адитивних ефектів генотипів і середовищ (середню врожайність), які є горизонтальною віссю та варіансу мультиплікативних ефектів взаємодії «генотип – середовище», яка розміщена по вертикальній осі (перша головна компонента). Biplot дозволяє аналізувати дисперсію генотипів, середовищ (років випробувань) та взаємодію між ними.

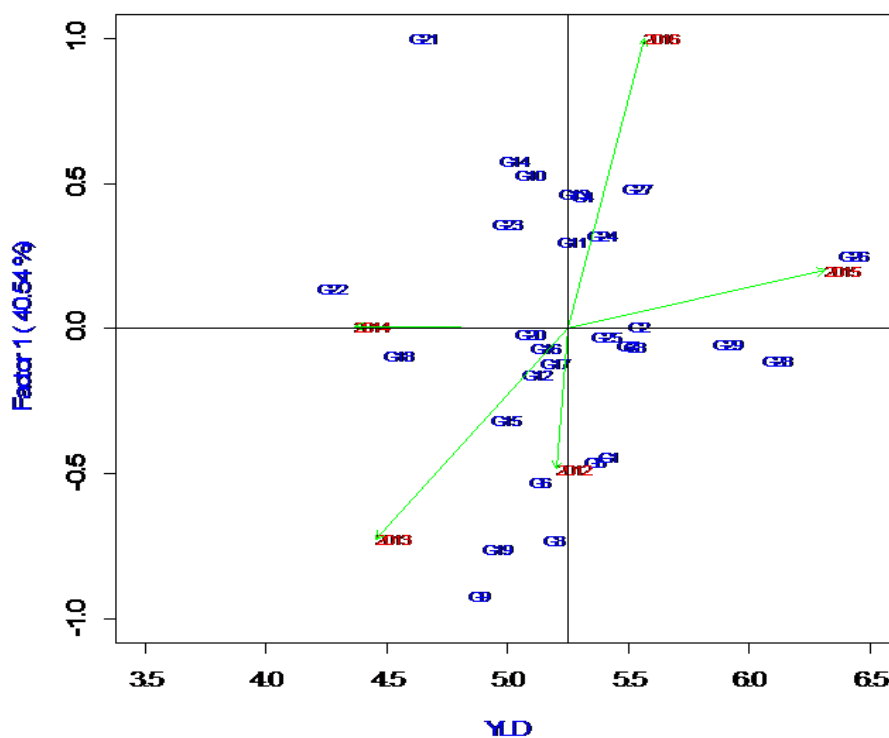


Рис. 1. АММІ1 biplot – розподіл генотипів і середовищ у координатах: головна компонента 1 (Factor 1) та середня продуктивність генотипів і середовищ (YLD), 2012 – 2016 рр.

Суттєву перевагу над іншими сортами мали генотипи G26 (Cartel), G28 (Паладін Миронівський), G29 (Атлант Миронівський). На рисунку 2 подано АММІ2 biplot мультиплікативних ефектів взаємодії «генотип – середовище» в координатах першої (PC1) і другої (PC2) головних компонент. Є можливість візуалізувати групування зразків та середовищ і оцінити яке із середовищ було кращим для конкретного генотипу.

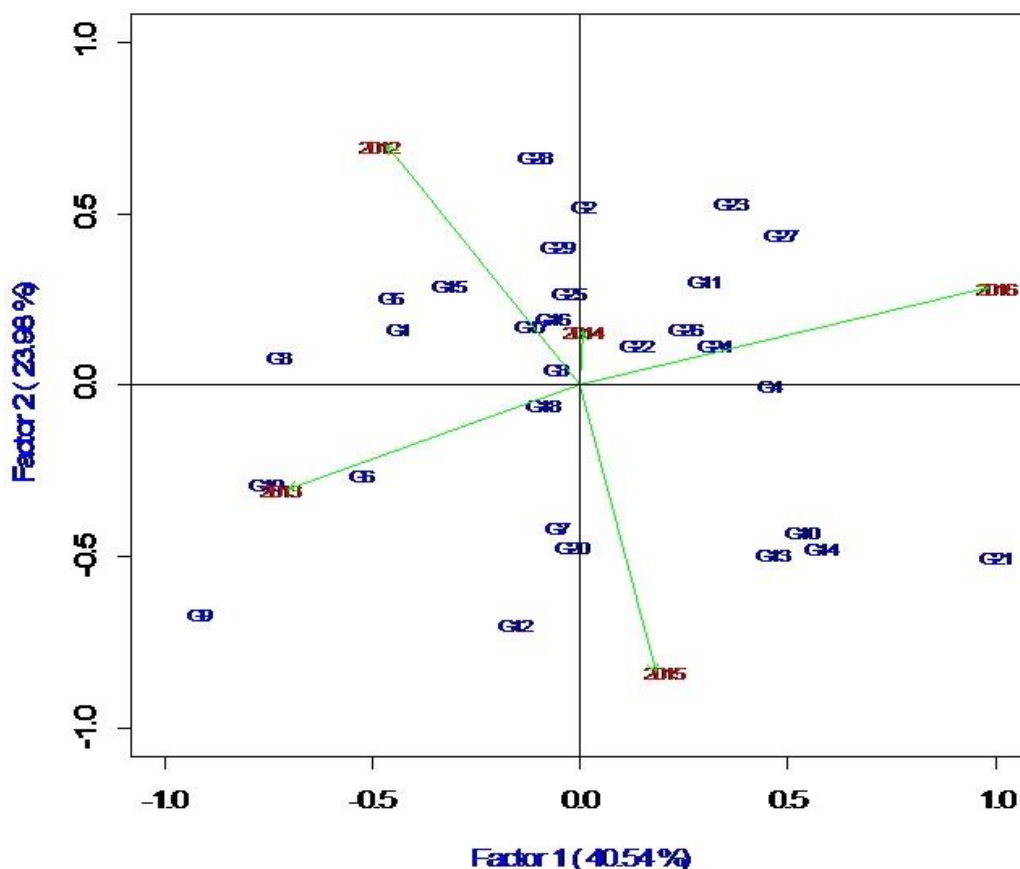


Рис. 2. АММІ2 biplot – розподіл генотипів і середовищ у координатах двох перших головних компонент, 2012 – 2016 рр.

При GGE biplot аналізі, перші дві головні компоненти (Axis 1, Axis 2) (рис. 3) пояснюють 80,59 % варіювання, що відчутно більше порівняно з АММІ моделлю – 64,52 %. На рисунку 3а GGE biplot «хто де переміг» (which won were) наочно демонструє перевагу генотипів G 26 (Cartel) G28 (Паладін Миронівський). Перший мав максимальну врожайність по досліді у чотирьох з п'яти років, за винятком 2011/2012 р. в якому переважав G28 (Паладін Миронівський).

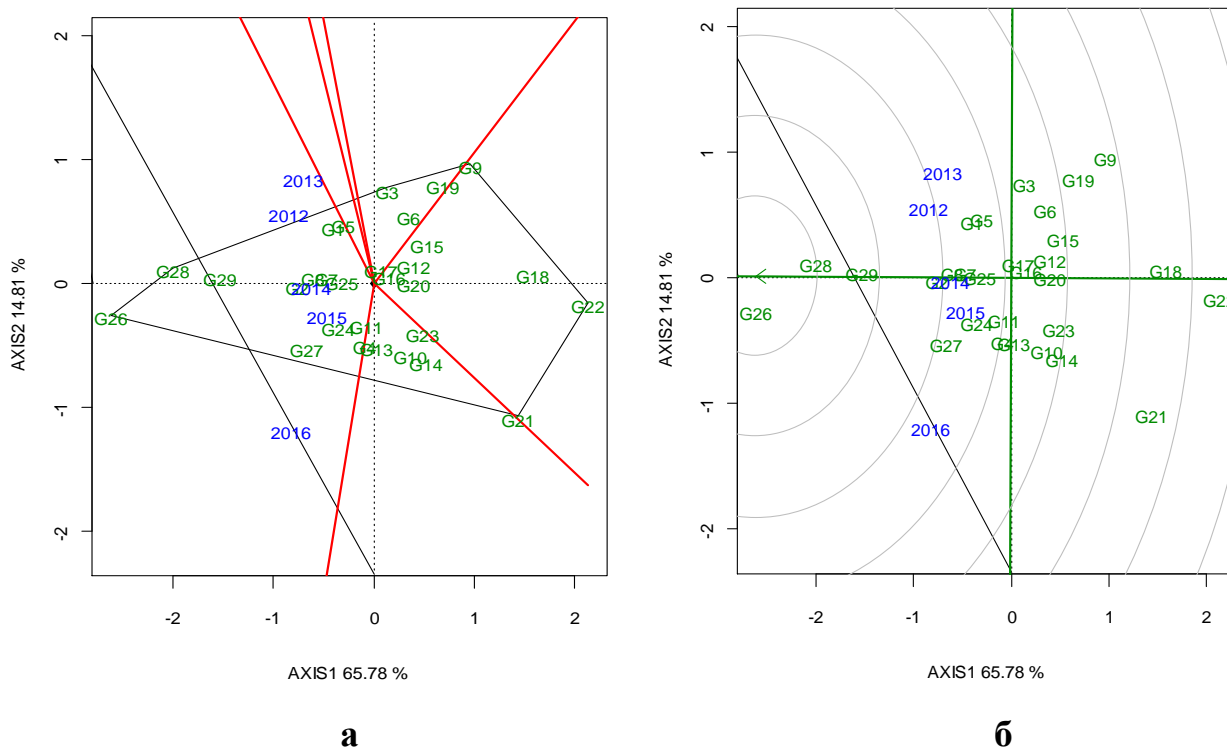


Рис. 3. а) GGE biplot «хто де переміг», б) Ранжирування генотипів по відношенню до «ідеального» генотипу, 2012 – 2016 рр.

Ранжирування генотипів по відношенню до так званого «ідеального» генотипу, який являє собою середину центричних кіл, (рис. 3 б) засвідчило, що найбільш наближеними до нього у спадаючому порядку були генотипи G26 (Cartel), G28 (Паладін Миронівський), G29 (Атлант Миронівський). Група генотипів – G1 (Тутанхамон), G2 (Жерар), G5 (Основа), G7 (Миронівський 87), G8 (Миронівський 93), G24 (Nektaria), G25 (Mascara), G27 (Salamandra) суттєво поступались названим трьом, але переважали решту сортів за врожайністю та стабільністю. Водночас генотипи, які розміщені за вертикальною лінією розподілу становлять менший практичний інтерес як для вирощування, так і селекційної роботи в даних умовах. Найвіддаленішими з них від «ідеального генотипу» були – G22 (Бемір 2), G18 (Росава), G21 (Радон). В цілому показовим на рисунках 1, 3, 4 є прямо діаметральне розміщення сортів, створених і впроваджених у виробництво у 80-х, на початку 90-х рр. XX ст. сортів: G 22 (Бемір 2), G 18 (Росава), G 21 (Радон) та нових сортів: G26 (Cartel), G28 (Паладін

Миронівський), G29 (Атлант Миронівський). Це може бути свідченням суттєвих змін умов середовища з часу створення перших, а також переваги за продуктивним та адаптивним потенціалом названих сучасних сортів.

Висновки. Уперше для Центрального Лісостепу України з використанням АММІ та GGE biplot моделей проведено поглиблену оцінку взаємодії «генотип – середовище» багаторічних даних урожайності генотипів ячменю озимого. Виділено сорти з найбільш оптимальним поєднанням середньої врожайності та її рівня прояву за роками: багаторядні – Cartel, Паладін Миронівський; дворядний – Атлант Миронівський. Вони є цінними генетичними джерелами для створення нового вихідного селекційного матеріалу адаптованого до даних умов. Сорти внесені до Держреєстру України – Паладін Миронівський і Атлант Миронівський рекомендовано впроваджувати для вирощування у Центральному Лісостепу України.

Список літератури

1. Gauch H. G. Model selection and validation for yield trials with interaction / H. G. Gauch // *Biometrics*. – 1988. – V. 44. – P. 705-715.
2. Hongyu K. Statistical analysis of yield trials by AMMI analysis of genotype x environment interaction / K. Hongyu, M. Garcia-Pena, L. Borges de Araujo, C. Tadeu dos Santos Dias // *Biometrical letters*. – 2014. – V. 51, № 2. – P. 89-102.
3. Abteu W.G. Ethiopian barley landraces show higher yield stability and comparable yield to improved varieties in multi-environment field trials / W.G. Abteu, B. Lakew, B.I.G. Haussmann, K.J. Schmid // *Journal of plant breeding and crop science*. – 2015. – V 7, № 8. – P. 275-291.
4. Verma R.P.S. AMMI model to analyse GxE for dual purpose barley in multi-environment trials / R.P.S. Verma, A.S. Kharab, J. Singh, V. Kumar, I. Sharma, A. Verma // *Agric. Sci. Digest*. – 2016. – V. 36, № 1. – P. 9-16.
5. Kiliç H. Additive main effects and multiplicative interactions (AMMI) analysis of grain yield in barley genotypes across environments / H. Kiliç // *Journal of agricultural sciences*. – 2014. – V. 20. – P. 337-344.
6. Gebremedhin W. Stability analysis of food barley genotypes in Northern Ethiopia / W. Gebremedhin, M. Firew, B. Tesfye // *African crop science journal*. – 2014. – V. 22, № 2. – 145-153.
7. Abdipur M. Analysis of the genotype-by-environment interaction of winter barley tested in the rain-fed regions of Iran by AMMI adjustment / M. Abdipur, B. Vaezi // *Bulgarian journal of agricultural science*. – 2014. – V. 20, № 2. – P. 421-427.

8. Mirosavljevic M. The application of AMMI model for barley cultivars evaluation in multi-year trials / M. Mirosavljevic, N. Przulj, J. Bocanski, D. Stanisavljevic, B. Mitrovic // *Genetika*. – 2014. – V. 46, № 2. – P. 445-454.
9. Yan W. Biplot analysis of multi-environment trial data: Principles and applications / W. Yan, N. A. Tinker // *Canadian journal of plant science*. – 2006. – V. 86, № 3. – P. 623-645.
10. 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. – V. 5, № 1. – P. 59-75.
11. Sarkar B. Identifying superior feed barley genotypes using GGE biplot for diverse environments in India / B. Sarkar, R. C. Sharma, R. P. S. Verma, A. Sarkar, I. Sharma // *Indian J. Genet.* – 2014. – V. 74, № 1. – P. 26-33.
12. Mohammadi M. Application of GGE biplot analysis to investigate GE interaction on barley grain yield / M. Mohammadi, A. A. Noorinia, G. R. Khalilzadeh, T. Hosseinpoo // *Current opinion in agriculture*. – 2015. – V. 4, № 1. – P. 25-32.
13. Yan W. GGE biplot vs. AMMI analysis of genotype-by-environment data / W. Yan, M. S. Kang, B. Ma, Sh. Woods, P. L. Cornelius // *Crop science*. – 2006. – V. 47, № 2. – P. 643-653.
14. Kendal E. Stability of a candidate and cultivars (*Hordeum vulgare* L.) by GGE biplot analysis of multi-environment yield trial in spring barley / E. Kendal, Y. Doğan // *Agriculture & forestry*. – 2015. – V. 61, № 4. – P. 307-318.
15. Mortazavian S.M.M. GGE biplot and AMMI analysis of yield performance of barley genotypes across different environments in Iran / S.M.M. Mortazavian, H. R. Nikkhah, F. A. Hassani, M. Sharif-al-Hosseini, M. Taheri, M. Mahlooji // *J. Agr. Sci. Tech.* – 2014. – V. 16. – P. 609-622.
16. 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. – V. 2, № 1. – P. 43-54.
17. Методика проведення експертизи та державного сортовипробування 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.
18. Доспехов Б.А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований) / Б.А. Доспехов. – Изд. 5-е, доп. и перераб. – М. : Агропромиздат, 1985. – 351 с.
19. 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. – V. 28. – P. 1629-1641.

References

1. Gauch, H.G. (1988). Model selection and validation for yield trials with interaction. *Biometrics*, 44, 705-715.

2. Hongyu, K., Garcia-Pena, M., Borges de Araujo, L., Tadeu dos Santos Dias, C. (2014). Statistical analysis of yield trials by AMMI analysis of genotype x environment interaction. *Biometrical letters*, 51 (2), 89-102.
3. Abteu, W.G., Lakew, B., Haussmann, 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. *Journal of plant breeding and crop science*, 7 (8), 275-291.
4. 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.
5. Kiliç, 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.
6. Gebremedhin, W., Firew, M., Tesfye, B. (2014). Stability analysis of food barley genotypes in Northern Ethiopia. *African crop science journal*, 22 (2), 145-153.
7. Abdipur, M., Vaezi, B. (2014) Analysis of the genotype-by-environment interaction of winter barley tested in the rain-fed regions of Iran by AMMI adjustment / // *Bulgarian journal of agricultural science*, 20 (2), 421-427.
8. Miroslavljevic, M., Przulj, N., Bocanski, J., Stanisavljevic, D., Mitrovic, B. (2014). The application of AMMI model for barley cultivars evaluation in multi-year trials. *Genetika*, 46 (2), 445-454.
9. 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.
10. Jalata, Z. (2011) GGE-biplot analysis of multi-environment yield trials of barley (*Hordeum vulgare* L.) genotypes in Southeastern Ethiopia Highlands. *International journal of plant breeding and genetics*, 5 (1), 59-75.
11. Sarkar, B., Sharma, R. C., Verma, R.P.S., Sarkar, A., Sharma, I. (2014). Identifying superior feed barley genotypes using GGE biplot for diverse environments in India. *Indian J. Genet.*, 74 (1), 26-33.
12. Mohammadi, M., Noorinia, A.A., Khalilzadeh, G.R., Hosseinpoo T. (2015). Application of GGE biplot analysis to investigate GE interaction on barley grain yield. *Current opinion in agriculture*, 4 (1), 25-32.
13. Yan, W., Kang, M. S. , Ma, B., Woods, Sh., Cornelius, P. L. (2006). GGE biplot vs. AMMI analysis of genotype-by-environment data. *Crop science*, 47 (2), 643-653.
14. Kendal, E., Doğan, Y. (2015). Stability of a candidate and cultivars (*Hordeum vulgare* L.) by GGE biplot analysis of multi-environment yield trial in spring barley / E. Kendal. *Agriculture & forestry*, 61 (4), 307-318.
15. Mortazavian, S.M.M., Nikkhah, H.R., Hassani, F.A., Sharif-al-Hosseini, M., Taheri, M., Mahlooji, M. (2014). GGE biplot and AMMI analysis of yield performance of barley genotypes across different environments in Iran. *Agr. Sci. Tech.*, 16, 609-622.
16. Ahmadi, J., Vaezi, B., Fotokian, M.H. (2012). Graphical analysis of multi-environment trials for barley yield using AMMI and GGE-biplot under rain-fed conditions / J. Ahmadi, // *Journal of plant physiology and breeding*, 2 (1), 43-54.

17. Volkodav, V. V. (Ed.). (2003). Method of examination and state testing of varieties of grain, cereal and leguminous crops. Okhorona prav na sorty roslyn [Plant variety rights protection] (Vol. 2, Part. 3). Kyiv: Alefa., 241 [in Ukrainian].

18. Dospikhov, B. A. (1985). Metodika polevogo opyta (s osnovami statisticheskoy obrabotki rezul'tatov issledovaniy) [Methods of field experiment (with the basics of statistical processing of research results)]. 5th ed., rev. Moscow: Agropromizdat, 351 [in Russian].

19. Frutos, E., Galindo, M.P., Leiva, V. (2014). An interactive biplot implementation in R for modeling genotype-by-environment interaction. Stoch. Environ. Res. Risk. Assess., 28, 1629-1641.

АММИ И GGE BIPLLOT АНАЛИЗ МНОГОЛЕТНИХ ДАННЫХ УРОЖАЙНОСТИ ЯЧМЕНЯ ОЗИМОГО В ЦЕНТАЛЬНОЙ ЛЕСОСТЕПИ УКРАИНЫ

В. М. Гудзенко, С. П. Васильковский

***Аннотация.** Приведены результаты многолетних (2011/2012 – 2015/2016 гг.) исследований в Мироновском институте пшеницы имени В. Н. Ремесло НААН 29 сортов ячменя озимого различных периодов селекционной работы, которые отличны по происхождению, систематическими, биологическими и морфологическими признаками. Впервые для Центральной Лесостепи Украины с использованием АММИ и GGE biplot моделей проведена глубокая оценка взаимодействия «генотип – среда» урожайности генотипов ячменя озимого. Показаны преимущества современных сортов по продуктивному и адаптивному потенциалах, по сравнению с сортами созданными в 80-х – начале 90-х годов XX ст. Выделены сорта с наиболее оптимальным сочетанием средней урожайности и её уровня проявления по годам: многорядные – Cartel, Паладин Мироновский; двурядный – Атлант Мироновский. Их рекомендовано использовать в селекционной работе как ценные генетические источники для создания нового исходного материала ячменя озимого с повышенной адаптивностью к этой экологической зоне. Сорта, которые внесены в Госреестр Украины – Паладин Мироновский и Атлант Мироновский, следует внедрять для выращивания в Центральной Лесостепи Украины.*

***Ключевые слова:** ячмень, урожайность, стабильность, взаимодействие «генотип-среда», АММИ, GGE biplot*

AMMI AND GGE BIPLLOT ANALYSIS OF LONG-TERM DATA ON WINTER BARLEY YIELDING CAPACITY IN THE CENTRAL FOREST STEPPE OF UKRAINE

V. Gudzenko, S. Vasykiskyi

***Abstract.** The article covers the results of many years (2011/2012-2015 2016) research at the V.M. Remeslo Myronivka Institute of Wheat of NAAS on 29 winter barley varieties bred in different periods which vary in origin, systematic, biological,*

and morphological features. For the first time in the Central Forest-steppe of Ukraine when using AMMI and GGE biplot models, profound evaluation of “genotype-environment” interaction on yielding capacity of winter barley genotypes has been conducted. Advantages of modern varieties for productive and adaptive capacity as compared with those created in the 1980's and early 1990's are demonstrated. There were identified the varieties with the most optimal combination of average yielding capacity and its manifestation by the years: six-row Cartel, Paladin Myronivs'kyi; two-row Atlant Myronivs'kyi. They are recommended to involve in breeding work as valuable genetic resources to create a new source material of winter barley with high adaptability to this ecological zone. The varieties Paladin Myronivs'kyi Atlant Myronivs'kyi are included in the State Register of Ukraine and should be introduced for growing in the Central Forest-steppe of Ukraine.

Keywords: *barley, yielding capacity, stability, interaction "genotype-environment», AMMI, GGE biplot*