

# Графічний аналіз адаптивності селекційних ліній ячменю ярого в Центральному Лісостепу України

В. М. Гудзенко<sup>1\*</sup>, О. А. Демидов<sup>1</sup>, С. П. Васильківський<sup>1,2</sup>, С. С. Коляденко<sup>3</sup>

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

<sup>2</sup> Білоцерківський національний аграрний університет, пл. Соборна, 8/1, м. Біла Церква, Київська обл., 09117, Україна

<sup>3</sup> Український інститут експертизи сортів рослин, вул. Генерала Родимцева, 15, м. Київ, 03041, Україна

**Мета.** Виділити селекційні лінії ячменю ярого з оптимальним поєднанням урожайності й стабільності за різних погодних умов у Центральному Лісостепу України. **Методи.** Польові дослідження, дисперсійний, АММІ, GGE biplot аналіз. **Результати.** Гідротермічний режим протягом міжфазних періодів вегетації ячменю ярого в умовах Миронівського інституту пшениці імені В. М. Ремесла НААН у 2012–2014 рр. характеризувався значною мінливістю, що сприяло детальній оцінці ліній за продуктивністю, стабільністю й стійкістю проти абіотичних та біотичних чинників. Найвища середня врожайність по досліді була в 2012 р. (5,87 т/га), найнижча – в 2013 р. (3,50 т/га). Середню врожайність стосовно зазначених років отримано в 2014 р. – 4,63 т/га. За допомогою АММІ та GGE biplot аналізу встановлено істотні відмінності за реакцією досліджених ліній на варіабельність метеорологічних умов. З використанням АММІ моделі охарактеризовано адитивні компоненти головних ефектів селекційних ліній і років випробувань, а також мультиплікативні компоненти їхньої взаємодії. GGE biplot ранжирування генотипів стосовно гіпотетичного «ідеального» генотипу свідчить про абсолютну перевагу селекційної лінії 'Нутанс 4540' за врожайністю та стабільністю. Крім неї, найближчими до ідеотипу були селекційні лінії 'Нутанс 4241' та 'Нутанс 4120'. Виділені селекційні лінії характеризувалися стійкістю та помірною стійкістю до основних листових хвороб і вилягання. **Висновки.** Використання АММІ та GGE biplot для оцінки селекційних ліній на завершальних етапах селекційного процесу дає змогу докладніше та наочно характеризувати й диференціювати їх не лише за середньою врожайністю, а й за взаємодією з мінливими умовами років випробувань. За стабільним рівнем прояву врожайності у поєднанні з іншими господарсько-цінними ознаками виділено селекційні лінії 'Нутанс 4540', 'Нутанс 4241' та 'Нутанс 4120', передані на державне сорто випробування як нові сорти ячменю ярого 'МІП Мирний', 'МІП Салют' та 'МІП Сотник'.

**Ключові слова:** ячмінь ярий, селекційні лінії, сорти, врожайність, стабільність, АММІ, GGE biplot.

## Вступ

Враховуючи одну з лідируючих позицій України щодо валового виробництва зерна ячменю в світі, вагомим завданням вітчизняної сільськогосподарської науки сьогодні є підвищення та стабілізація врожайності цієї культури. Основою цього є сорт з оптимальним поєднанням максимальної кількості необхідних господарсько-цінних ознак і властивостей.

Поряд з високим потенціалом продуктивності й відповідними якісними показниками сорту, необхідним є генетично детермінований захист від дії абіотичних та біотичних чинників. При цьому важливою з гос-

подарського погляду є не лише стійкість «per se», а й здатність сорту підтримувати достатній рівень гомеостазу в реалізації закладеного потенціалу продуктивності за дії названих стресів.

Для оцінки стабільного рівня прояву врожайності селекційний матеріал та сорти випробовують у контрастних роках [1, 2], різних екологічних зонах [3, 4] або штучно створених провокаційних умовах [5–7]. На основі численних літературних джерел та власних експериментальних досліджень В. В. Сюков та ін. [8] вказують, що середнє значення ознаки і чутливість до умов середовища перебувають під різним генетичним контролем і є відносно незалежними. Виходячи з цього, для адаптивної селекції середнє значення врожайності є недостатньо інформативним, оскільки не повністю характеризує генотипи за адаптивністю. Для узагальнення та інтерпретації отриманих експериментальних даних розроблено ряд математично-статистичних методик оцінки пластичності й стабільності. Найбільшого поширення у селекційній практиці в різні

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

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

Stanislav Vasylykivskyi  
<https://orcid.org/0000-0002-0216-3706>

Svitlana Koliadenko  
<https://orcid.org/0000-0001-5341-8601>

роки набули підходи таких дослідників, як K. W. Finlay, G. N. Wilkinson [9], S. A. Eberhart, W. A. Russell [10], В. В. Хангильдин, М. А. Литвиненко [11], А. В. Кильчевский, Л. В. Хотылёва [12], G. C. C. Tai [13], G. Wricke [14], G. K. Shukla [15] та ін.

Останнім часом для аналізу багатосередовищних випробувань використовують АММІ [16, 17] та GGE biplot моделі [18–20] або їхнє поєднання [21, 22]. АММІ поєднує дисперсійний аналіз (ANOVA) та сингулярний розподіл (singular value decomposition) і дає змогу графічно зображати адитивні компоненти основних ефектів генотипів і середовищ, а також мультиплікативні компоненти їхньої взаємодії [23, 24]. GGE biplot (взаємодія «генотип – генотип–середовище») з математичного погляду можна охарактеризувати як графічне відображення матричної мультиплікації (matrix multiplication) [25]. Обидва підходи дають змогу візуально аналізувати розподіл генотипів та середовищ у двокомпонентному просторі, або побудову так званого biplot, запропонованого ще в 1971 р. K. R. Gabriel [26]. Водночас GGE biplot має ряд графічних функцій, що дають можливість докладніше візуально характеризувати взаємодію «генотип – генотип–середовище».

*Мета досліджень* – виділити селекційні лінії ячменю ярого з оптимальним поєднанням урожайності й стабільності за різних погодних умов у Центральному Лісостепу України.

### Матеріали та методика досліджень

Польові дослідження проводили в Миронівському інституті пшениці імені В. М. Ремесла НААН (МІП) у 2012–2014 рр. відповідно до загальноприйнятих методик [27, 28]. Об'єкт досліджень – 12 селекційних ліній конкурсного сортовипробування порівняно з національним стандартом України – сортом 'Командор'. Графічний аналіз взає-

модії «генотип–середовище» та «генотип – генотип–середовище» проводили за допомогою АММІ і GGE biplot моделей. Для цього використовували пакет прикладних програм на основі R-програмування (<http://www.r-project.org>). Характеристику цього програмного забезпечення порівняно з комерційним GGE biplot software наведено в публікації E. Frutos та ін. [29]. Для дисперсійного аналізу АММІ моделі використали підхід Н. F. Gollob [30]. Гідротермічний режим окремих міжфазних періодів вегетації ячменю ярого протягом років досліджень характеризували, порівнюючи із середнім, максимальним і мінімальним значеннями за 2004–2014 рр. Статистичний аналіз виконували з допомогою програм Excel 2010 та Statistica 8.0.

### Результати досліджень

Аналіз гідротермічного режиму міжфазних періодів вегетації ячменю ярого в 2012–2014 рр. свідчить про значні коливання як середньодобових температур повітря, так і кількості опадів (табл. 1).

Зокрема, 2012 р. характеризувався найбільшою за 11 років кількістю опадів від сівби до сходів, що дало змогу закласти досить добрі передумови врожаю, незважаючи навіть на істотно нижчі, порівняно із середніми за 2004–2011 рр., показники кількості опадів на подальших міжфазних періодах. На фоні нижчої кількості необхідно зазначити відносну рівномірність випадання опадів протягом вегетації ячменю ярого в 2012 р., що в цілому стало визначальним у формуванні врожайності селекційних ліній у цьому році. Особливістю 2013 р. були підвищені температури повітря в усі міжфазні періоди росту й розвитку рослин ячменю ярого, а також недостатня кількість опадів у період від колосіння до дозрівання, що спричинило значне зниження врожайності. Натомість, 2014 р. характеризувався віднос-

Таблиця 1

Гідротермічний режим у міжфазні періоди вегетації ячменю ярого

Рік	Середньодобова температура, °С					Кількість опадів, мм				
	ССх	СхК	КД	СхД	СД	ССх	СхК	КД	СхД	СД
2012	7,7	17,1	21,3	19,2	15,4	30,5	50,8	75,4	126,2	156,7
2013	12,7	18,7	22,3	20,5	17,9	0,3	82,0	41,4	123,4	123,7
2014	8,5	13,0	18,6	15,8	13,3	7,4	166,9	116,1	283,0	290,3
<b>X</b>	<b>8,8</b>	<b>14,9</b>	<b>20,2</b>	<b>17,5</b>	<b>14,6</b>	<b>10,6</b>	<b>88,2</b>	<b>98,4</b>	<b>186,6</b>	<b>197,2</b>
<i>Max</i>	12,7	18,7	22,3	20,5	17,9	30,5	166,9	217,7	283	290,3
<i>Min</i>	4,7	12,7	17,7	15,5	12,2	0,3	23,1	41,4	120,1	123,7
R(max-min)	8,0	6,0	4,6	5,0	5,7	30,2	143,8	176,3	162,9	166,6

**Примітка.** ССх – сівба–сходи; СхК – сходи–колосіння; КД – колосіння–дозрівання; СхД – сходи–дозрівання; СД – сівба–дозрівання; X, min, max, R(max-min) – відповідно середнє, мінімальне, максимальне значення і розмах варіювання за 2004–2014 рр.

но прохолодним температурним режимом в усі міжфазні періоди, а також істотно вищою кількістю опадів, починаючи від сходів і закінчуючи збиранням. Надлишок вологи спровокував як вилягання селекційних ліній, так і розвиток збудників листових хвороб. Ці чинники також вплинули на рівень прояву врожайності селекційних ліній. Таким чином, дослідження селекційних ліній в контрастні за забезпеченням метеоресурсами 2012–2014 рр. сприяло виділенню генотипів ячменю ярого з поєднанням урожайності й толерантності до абіотичних та біотичних чинників як результат формування врожайності за їх дії.

Найвищий у середньому по досліді рівень урожайності був у 2012 р. – 5,87 т/га (табл. 2). Різниця між її максимальним і мінімаль-

ним значеннями в деяких ліній становила 0,76 т/га. Найнижчою була врожайність у 2013 р. – 3,50 т/га, при цьому різниця між лініями становила 1,20 т/га. У 2014 р. середня врожайність досягала 4,63 т/га, а розмах варіювання був найвищим за роки досліджень – 1,30 т/га. В усі роки було зафіксовано селекційні лінії, що достовірно ( $HIP_{0,05}$ ) перевищували стандарт за врожайністю.

Дисперсійний аналіз АММІ моделі виявив найістотніший внесок умов середовища (88,4%) у дисперсію (табл. 3). Генотип та взаємодія «генотип–середовище» мали значно нижчий ефект – 5,7 і 5,9% відповідно.

АММІ1 biplot (рис. 1) репрезентує варіансу головних адитивних ефектів (середню врожайність) селекційних ліній (G1...G13) і

Таблиця 2  
Урожайність селекційних ліній ячменю ярого залежно від року випробувань

Лінія, сорт	Шифр	2012 р. (Y12)	2013 р. (Y13)	2014 р. (Y14)	X
'Командор' – St	G1	5,67	3,22	4,86	4,58
'Нутанс 4540'	G2	6,18	4,12	5,35	5,22
'Нутанс 4241'	G3	5,97	3,67	5,32	4,99
'Нутанс 4120'	G4	5,96	3,62	5,12	4,90
'Нутанс 3882'	G5	6,23	3,54	4,35	4,71
'Нутанс 4340'	G6	5,58	3,91	4,23	4,57
'Нутанс 4380'	G7	5,57	3,64	4,13	4,45
'Нутанс 4238'	G8	5,58	3,86	4,56	4,67
'Нутанс 4203'	G9	6,33	3,39	4,76	4,83
'Нутанс 4112'	G10	5,93	2,94	4,39	4,42
'Нутанс 4215'	G11	5,62	2,92	4,47	4,34
'Нутанс 4137'	G12	5,87	3,67	4,05	4,53
'Нутанс 4571'	G13	5,79	3,04	4,56	4,46
<b>X</b>	–	<b>5,87</b>	<b>3,50</b>	<b>4,63</b>	<b>4,67</b>
Max	–	6,33	4,12	5,35	5,22
Min	–	5,57	2,92	4,05	4,34
R(max-min)	–	0,76	1,20	1,30	0,88
$HIP_{0,05}$	–	0,26	0,22	0,29	0,26

Примітка. X, min, max, R(max-min) – середнє, мінімальне, максимальне значення і розмах варіювання відповідно.

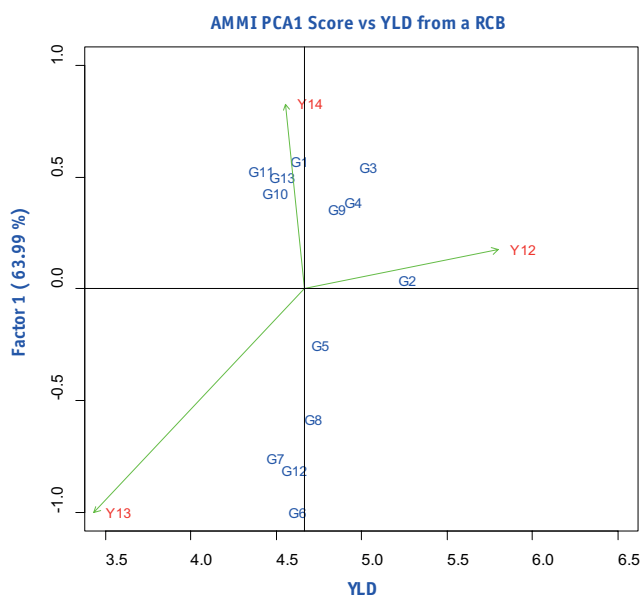


Рис. 1. АММІ1 biplot – розподіл селекційних ліній і років випробувань у координатах: головна компонента 1 (Factor 1) та середня продуктивність ліній і років (YLD) (2012–2014 рр.)

Таблиця 3  
Результати дисперсійного аналізу АММІ моделі врожайності селекційних ліній ячменю ярого (2012–2014 рр.)

Фактори	SS	PORCENT	DF	MS	F*
ENV	109,07634	88,38273	2	54,53817	2284,95527
GEN	7,02101	5,68901	12	0,58508	24,51296
ENV*GEN	7,31628	5,92826	24	0,30484	12,77192
PC1	4,68143	63,98646	13	0,36011	30,27388
PC2	2,63485	36,01354	11	0,23953	20,13691
PC3	0	0	9	0	0
Residuals	1,86173	0	78	0,02387	–

Примітка. ENV – середовище, GEN – генотип, ENV\*GEN – взаємодія «генотип–середовище», SS – сума квадратів, PORCENT – частка внеску у варіацію, %; DF – число ступенів свободи, MS – середній квадрат, F – критерій, PC1...PC3 – головні компоненти;

\*достовірно на 0,01% рівні значущості.

років випробувань (Y1...Y3), які є горизонтальною віссю (YLD), та варіансу мультиплікативних ефектів взаємодії «генотип–середовище», яка розміщена по вертикальній осі (Factor 1). Він дає змогу графічно аналізувати дисперсію селекційних ліній і років випробувань та взаємодію між ними.

АММІ2 biplot (рис. 2) демонструє мультиплікативні ефекти взаємодії селекційна лінія – рік випробувань у координатах першої (Factor 1) і другої (Factor 2) головних компонент. Є можливість візуалізувати групування генотипів та років випробувань і визначити, який з років був оптимальним для конкретної лінії.

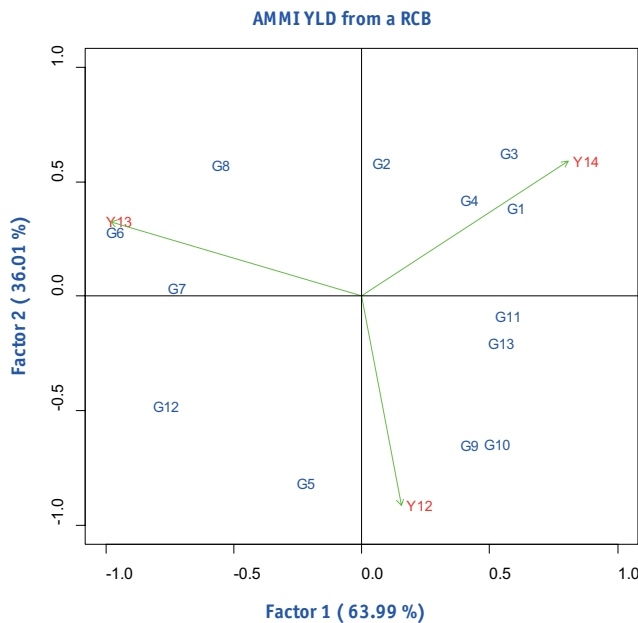


Рис. 2. AMMI2 biplot – розподіл селекційних ліній і років випробувань у координатах двох перших головних компонент (2012–2014 рр.)

Перші дві головні компоненти (Axis 1, Axis 2) GGE biplot аналізу пояснюють 86,9% взаємодії генотип–середовище, як це показано на рисунку 3. Цей biplot хто-де-переміг (англ. which-won-where) характеризує взаємозв'язок селекційних ліній з умовами років вирощування. Як і на двох наведених рисунках АММІ аналізу, наочно помітно перевагу селекційної лінії G2 ('Нутанс 4540') в усі роки випробувань. GGE biplot ранжирування генотипів стосовно гіпотетичного «ідеального» генотипу, який являє собою середину центричних кіл, також демонструє абсолютну перевагу селекційної лінії G2 ('Нутанс 4540') (рис. 4). Крім неї, наближеними до ідеатипу є селекційні лінії G3 ('Нутанс 4241') та G4 ('Нутанс 4120').

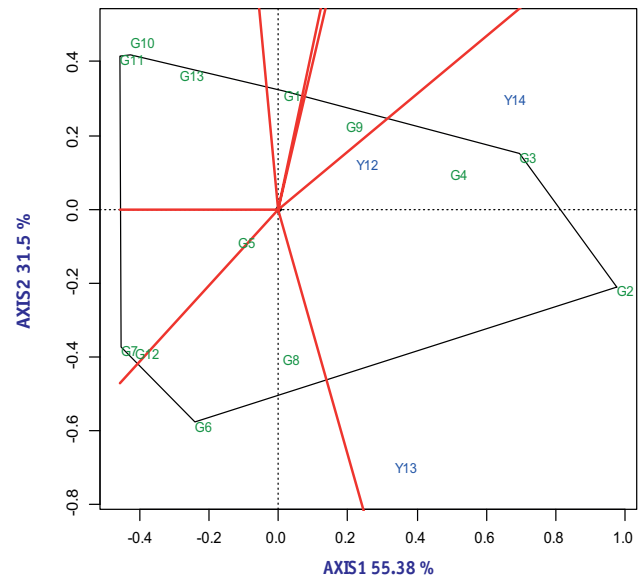


Рис. 3. GGE biplot «хто-де-переміг» (2012–2014 рр.)

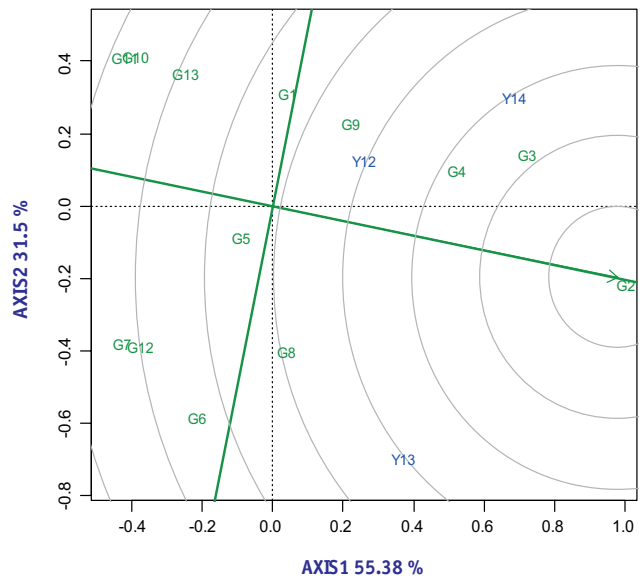


Рис. 4. Ранжирування селекційних ліній стосовно гіпотетичного «ідеального» генотипу (2012–2014 рр.)

Виділені селекційні лінії: 'Нутанс 4540' ('Trophee'/'Rodeo'/'Аскольд'), 'Нутанс 4241' ('Adagio'/'Пам'ятний') та 'Нутанс 4120' ('Celinca'/'Пам'ятний'), поєднують урожайність і стабільність з рядом інших господарсько-цінних ознак (табл. 4). За результатами проведених досліджень ці лінії передано на державне сортовипробування України відповідно як нові сорти ячменю ярого – 'МПП Мирний', 'МПП Салют' та 'МПП Сотник'.

## Висновки

Використання АММІ та GGE biplot для оцінки селекційних ліній на завершальних

**Характеристика нових сортів ячменю ярого за господарсько-цінними ознаками у конкурсному сортовипробуванні МІП (2012–2014 рр.)**

№ лінії, назва сорту	Врожайність, т/га	+ до St, т/га	Маса 1000 зерен, г	Висота рослин, см	Стійкість проти, бал*					Період «сходи–колісіння» дів
					вильгання	борошністої роси	смугастої плямистості	сітчастої плямистості	темно-бурої плямистості	
‘Командор’ – St	4,58	–	48,0	88	7	4	6	6	6	56
‘МІП Мирний’ (‘Нутанс 4540’)	5,22	0,64	50,3	89	8	6	8	6	6	56
‘МІП Салют’ (‘Нутанс 424’)	4,99	0,41	49,6	87	7	7	7	6	7	58
‘МІП Сотник’ (‘Нутанс 4120’)	4,90	0,32	46,7	90	7	6	7	6	6	57
НІР <sub>0,05</sub>		0,26								

етапах селекційного процесу дає змогу докладніше і наочно характеризувати та диференціювати їх не лише за середньою врожайністю, а й за взаємодією з мінливими умовами років випробувань. За рівнем прояву та стабільністю врожайності у поєднанні з іншими господарсько-цінними ознаками виділено селекційні лінії ‘Нутанс 4540’, ‘Нутанс 4241’ та ‘Нутанс 4120’, які передано на державне сортовипробування як нові сорти ячменю ярого ‘МІП Мирний’, ‘МІП Салют’ та ‘МІП Сотник’.

### Використана література

- Гудзенко В. М. Урожайність, пластичність та стабільність ячменю озимого у центральному Лісостепу України / В. М. Гудзенко // Селекція і насінництво : міжвід. темат. наук. зб. – Х. : Стиль-Іздат, 2013. – Вип. 103. – С. 231–241.
- The application of AMMI model for barley cultivars evaluation in multi-year trials / M. Miroslavjevic, N. Przulj, J. Bocanski [et al.] // Genetika. – 2014. – Vol. 46, No. 2. – P. 445–454. doi: 10.2298/GENSR1402445M
- 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. Hausmann, K. J. Schmid // J. Plant Breed. Crop Sci. – 2015. – Vol. 7, No. 8. – P. 275–291. doi: 10.5897/JPBCS2015.0524
- Gebremedhin W. Stability analysis of food barley genotypes in Northern Ethiopia / W. Gebremedhin, M. Firew, B. Tesfye // Afr. Crop. Sci. J. – 2014. – Vol. 22, No. 2. – P. 145–153.
- Бурденюк-Тарасевич Л. А. Методи селекції сортів озимої м'якої пшениці з підвищеною адаптивністю до умов Лісостепу і Полісся України : автореф. дис. ... доктора с.-г. наук : спец. 06.01.05 «Селекція і насінництво» / Л. А. Бурденюк-Тарасевич ; Ін-т цукрових буряків УААН. – К., 2001. – 44 с.
- Методика интегральной оценки экологической адаптивности селекционного материала на ранних этапах его создания / А. М. Бурдун, Л. М. Лопатина, Мох. А. Хасан, Мух. Ах. Хасан. – Краснодар, 1989. – 32 с.
- Рівень адаптивності перспективних ліній пшениці м'якої озимої в умовах Лісостепу України / В. С. Кочмарський, Н. П. Замліла, Г. Б. Вологдіна [та ін.] // Миронівський вісник. – 2016. – Вип. 2. – С. 98–116.

- Метод оценки гомеоадаптивности 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.
- Finlay K. W. The analysis of adaptation in a plant-breeding programme / K. W. Finlay, G. N. Wilkinson // Aust. J. Agric. Res. – 1963. – Vol. 14. – P. 742–754. doi: 10.1071/AR9630742
- Eberhart S. A. Stability parameters for comparing varieties / S. A. Eberhart, W. A. Russell // Crop Sci. – 1966. – Vol. 6, Iss. 1. – P. 36–40.
- Хангильдин В. В. Гомеостатичність і адаптивність сортів озимої пшениці / В. В. Хангильдин, Н. А. Литвиненко // Науч.-техн. бюл. ВСГИ. – Одесса, 1981. – Вип. 1. – С. 8–14.
- Кильчевский А. В. Метод оценки адаптивной способности и стабильности генотипов, дифференцирующей способности среды. Сообщение I. Обоснование метода / А. В. Кильчевский, Л. В. Хотылева // Генетика. – 1985. – Т. XXI, № 9. – С. 1481–1489.
- Tai G. C. C. Genotypic stability analysis and its application to potato regional traits / G. C. C. Tai // Crop Sci. – 1971. – Vol. 11. – P. 184–190.
- Wricke G. Über eine Methode zur Erfassung der ökologischen Streubreite in Feldversuchen / G. Wricke // Z. Pflanzenzücht. – 1962. – Vol. 47. – P. 92–96.
- Shukla G. K. Some statistical aspects of partitioning genotype-environmental components of variability / G. K. Shukla // Heredity. – 1972. – Vol. 29, No. 2. – P. 237–245. doi: 10.1038/hdy.1972.87
- Kiliç H. Additive main effects and multiplicative interactions (AMMI) analysis of grain yield in barley genotypes across environments / H. Kiliç // Tar. Bil. Der. – 2014. – Vol. 20, No. 4. – P. 337–344. doi: 10.15832/tbd.44431
- AMMI model to analyse GxEn 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. doi: 10.18805/asd.v35i1.9303
- Jalata Z. GGE-biplot analysis of multi-environment yield trials of barley (*Hordeum vulgare* L.) genotypes in Southeastern Ethiopia Highlands / Z. Jalata // Int. J. Plant Breed. Genet. – 2011. – Vol. 5, Iss. 1. – P. 59–75. doi: 10.3923/ijpb.2011.59.75
- 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. Plant Breed. – 2014. – Vol. 74, No. 1. – P. 26–33. doi: 10.5958/j.0975-6906.74.1.004
- Application of GGE biplot analysis to investigate GE interaction on barley grain yield / M. Mohammadi, A. A. Noori-

- nia, G. R. Khalilzadeh, T. Hosseinpoor // *Curr. Opin. Agric.* – 2015. – Vol. 4, No. 1. – P. 25–32.
21. GGE biplot and AMMI analysis of yield performance of barley genotypes across different environments in Iran / S. M. Mortazavian, H. R. Nikkhah, F. A. Hassani [et al.] // *J. Agr. Sci. Tech.* – 2014. – Vol. 16, No. 3. – P. 609–622.
  22. 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 & Breeding.* – 2012. – Vol. 2, Iss. 1. – P. 43–54.
  23. Gauch H. G. Model selection and validation for yield trials with interaction / H. G. Gauch // *Biometrics.* – 1988. – Vol. 44, No. 3. – P. 705–715. doi: 10.2307/2531585
  24. Statistical analysis of yield trials by AMMI analysis of genotype  $\times$  environment interaction / K. Hongyu, M. García-Peña, L. B. de Araujo, C. T. dos Santos Dias // *Biometrical Letters.* – 2014. – Vol. 51, No. 2. – P. 89–102. doi: 10.2478/bile-2014-0007
  25. Yan W. Biplot analysis of multi-environment trial data: Principles and applications / W. Yan, N. A. Tinker // *Can. J. Plant Sci.* – 2006. – Vol. 86, No. 3. – P. 623–645. doi: 10.4141/P05-169
  26. Gabriel K. R. The biplot graphic display of matrices with application to principal components analysis / K. R. Gabriel // *Biometrika.* – 1971. – Vol. 58, No. 3. – P. 453–467.
  27. Методика проведення експертизи та державного сортови-пробування сортів рослин зернових, круп'яних та зернобобових культур // Охорона прав на сорти рослин : офіц. бюлетень / за ред. В. В. Волкодава. – К. : Алефа, 2003. – Вип. 2, Ч. 3. – 241 с.
  28. 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.
  29. 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, Iss. 7. – P. 1629–1641. doi: 10.1007/s00477-013-0821-z
  30. Gollob H. F. A statistical model which combines feature of factor analytic and analysis of variance techniques / H. F. Gollob // *Psychometrika.* – 1968. – Vol. 33, Iss. 1. – P. 73–115. doi: 10.1007/BF02289676
- ## References
1. Hudzenko, V. M. (2013). Yielding capacity, plasticity and stability of spring barley in the Central Forest-Steppe zone of Ukraine. *Selektsia i Nasinnitstvo* [Plant Breeding and Seed Production], 103, 231–241. [in Ukrainian]
  2. Miroslavljevic, M., Przulj, N., Bocanski, J., Stanislavljevic, D., & Mitrovic, B. (2014). The application of AMMI model for barley cultivars evaluation in multi-year trials. *Genetika*, 46(2), 445–454. doi: 10.2298/GENS1402445M
  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. *J. Plant Breed. Crop Sci.*, 7(8), 275–291. doi: 10.5897/JPBCS2015.0524
  4. Gebremedhin, W., Firew, M., & Tesfye, B. (2014). Stability analysis of food barley genotypes in Northern Ethiopia. *Afr. Crop. Sci. J.*, 22(2), 145–153.
  5. Burdeniuk-Tarasevych, L. A. (2001). *Metody selektsii sortiv ozymoi miakoi pshenytsi z pidvyshchenoiu adaptivnistiu do umov Lisostepu i Polissia Ukrainy* [Methods of soft winter wheat breeding for increased adaptability to conditions of the Forest-Steppe and Polissia zones of Ukraine] (Extended abstract of Doc. Agric. Sci. Diss.). Institute of Sugar Beet of UAAS, Kyiv, Ukraine. [in Ukrainian]
  6. Burdun, A. M., Lopatina, L. M., Khasan, Mokh. A., Khasan, & Mukh. Akh. Khasan (1989). *Metodika integral'noy otsenki ekologicheskoy adaptivnosti selektsionnogo materiala na rannikh etapakh ego sozdaniya* [Methods of integral estimation of ecological adaptability of breeding material at the early stages of its creation]. Krasnodar: N.p. [in Russian]
  7. Kochmarskiy, V. S., Zamila, N. P., Volohdina, H. B., Humeniuk, O. V., & Voloshchuk, S. I. (2016). Level of adaptability of bread winter wheat promising lines under conditions of the Forest-Steppe zone of Ukraine. *Myronivskiy visnyk* [Myronivka Bulletin], 2, 98–116. [in Ukrainian]
  8. Syukov, V. V., Zakharov, V. G., Krivobochech V. G., Nikonov, V. I., Vasilova, N. Z., & Ganeev, V. A. (2008). *Metod otsenki gomeoadaptivnosti v sisteme ekologicheskoy selektsii yarovoy myagkoy pshenytsy* [Method of homeoadaptability evaluation in the system of ecological breeding of bread spring wheat]. Samara: SamNC RAN. [in Russian]
  9. Finlay, K. W., & Wilkinson, G. N. (1963). The analysis of adaptation in a plant-breeding programme. *Aust. J. Agric. Res.*, 14, 742–754. doi: 10.1071/AR9630742
  10. Eberhart, S. A., & Russell, W. A. (1966). Stability parameters for comparing varieties. *Crop Sci.*, 6(1), 36–40.
  11. Khangildin, V. V., & Litvinenko, N. A. (1981). Homeostaticity and adaptability of winter wheat varieties. *Nauchno-tekhnicheskiiy byuleten VSGI* [Scientific and technical bulletin of All-Union Breeding & Genetics Institute], 1, 8–14. [in Russian]
  12. Kilchevskiy, A. V., & Khotyleva, L. V. (1985). Method of estimation of adaptive ability and stability of genotypes that differentiate environment capacity. Part I. Method justification. *Genetika* [Genetics], 21(9), 1481–1489. [in Russian]
  13. Tai, G. C. C. (1971). Genotypic stability analysis and its application to potato regional traits. *Crop Sci.*, 11, 184–190.
  14. Wricke, G. (1962). Über eine Methode zur Erfassung der ökologischen Streubreite in Feldversuchen. *Z. Pflanzenzücht.*, 47, 92–96.
  15. Shukla, G. K. (1971). Some statistical aspects of partitioning genotype-environmental components of variability. *Heredity*, 29(2), 237–245. doi: 10.1038/hdy.1972.87
  16. Kilič, 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
  17. Verma, R. P. S., Kharab, A. S., Singh, J., Kumar, V., Sharma, I., & Verma, A. (2016). AMMI model to analyse G $\times$ E for dual purpose barley in multi-environment trials. *Agric. Sci. Digest.*, 36(1), 9–16. doi: 10.18805/asd.v35i1.9303
  18. Jalata, Z. (2011). GGE-biplot analysis of multi-environment yield trials of barley (*Hordeum vulgare* L.) genotypes in Southeastern Ethiopia Highlands. *Int. J. Plant Breed. Genet.*, 5(1), 59–75. doi: 10.3923/ijpbq.2011.59.75
  19. 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. Plant Breed.*, 74(1), 26–33. doi: 10.3923/ijpbq.2011.59.75
  20. Mohammadi, M., Noorinia, A. A., Khalilzadeh, G. R., & Hosseinpoor, T. (2015). Application of GGE biplot analysis to investigate GE interaction on barley grain yield. *Curr. Opin. Agric.*, 4(1), 25–32.
  21. 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. *J. Agr. Sci. Tech.*, 16(3), 609–622.
  22. 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. *Journal of Plant Physiology & Breeding*, 2(1), 43–54.
  23. Gauch, H. G. (1988). Model selection and validation for yield trials with interaction. *Biometrics*, 44(3), 705–715. doi: 10.2307/2531585
  24. Hongyu, K., García-Peña, M., de Araujo, L. B., & dos Santos Dias, C. T. (2014). Statistical analysis of yield trials by AMMI analysis of genotype  $\times$  environment interaction. *Biometrical Letters*, 51(2), 89–102. doi: 10.2478/bile-2014-0007

25. 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
26. Gabriel, K. R. (1971). The biplot graphic display of matrices with application to principal components analysis. *Biometrics*, 58(3), 453–467.
27. Volkodav, V. V. (Ed.). (2003). Regulations on the procedure and the conduct of examination and state testing of grain, cereal and leguminous crops. In *Okhorona prav na sorty roslyn* [Plant variety rights protection] (Vol. 2, Part. 3). Kyiv: Alefa. [in Ukrainian]
28. 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)]. (5<sup>th</sup> ed., rev.). Moscow: Agropromizdat. [in Russian]
29. 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(7), 1629–1641. doi: 10.1007/s00477-013-0821-z
30. Gollob, H. F. (1968). A statistical model which combines feature of factor analytic and analysis of variance techniques. *Psychometrika*, 33(1), 73–115. doi: 10.1007/BF02289676

УДК 633.16:631.527:631.524.84/.85

**Гудзенко В. Н.<sup>1\*</sup>, Демидов А. А.<sup>1</sup>, Васильковский С. П.<sup>1,2</sup>, Коляденко С. С.<sup>3</sup>** Графический анализ адаптивности селекционных линий ячменя ярового в Центральной Лесостепи Украины // Сортовивчення та охорона прав на сорти рослин. – 2017. – Т. 13, № 1. – С. 20–27. <http://dx.doi.org/10.21498/2518-1017.1.2017.97233>

<sup>1</sup> Мировский институт пшеницы имени В. Н. Ремесло НААН Украины, ул. Центральная, 68, с. Центральное, Миронивский р-н, Киевская обл., 08853, Украина, \*e-mail: barleys@mail.ru

<sup>2</sup> Белоцерковский национальный аграрный университет, пл. Соборная, 8/1, г. Белая Церковь, Киевская обл., 09117, Украина

<sup>3</sup> Украинский институт экспертизы сортов растений, ул. Генерала Родимцева, 15, г. Киев, 03041, Украина

**Цель.** Выделить селекционные линии ячменя ярового с оптимальным сочетанием урожайности и стабильности при различных погодных условиях в Центральной Лесостепи Украины. **Методы.** Полевые исследования, дисперсионный, АММИ, GGE biplot анализ. **Результаты.** Гидротермический режим на протяжении междуфазных периодов вегетации ячменя ярового в условиях Миронивского института пшеницы имени В. Н. Ремесло НААН в 2012–2014 гг. характеризовался значительной изменчивостью, что способствовало детальной оценке линий по продуктивности, стабильности и устойчивости к абиотическим и биотическим факторам. Наибольшая средняя урожайность по опыту отмечена в 2012 г. (5,87 т/га), наименьшая – в 2013 г. (3,50 т/га). Средняя урожайность по отношению к названным годам была получена в 2014 г. – 4,63 т/га. С помощью АММИ и GGE biplot анализа выявлены существенные отличия по реакции исследуемых линий на вариабельность метеорологических условий. С использованием АММИ модели дана характеристика аддитивным компонентам главных эффектов селекционных линий и годов испытаний, а также мультипликативным компонентам их взаимодействия. GGE biplot ранжиро-

вание генотипов по отношению к гипотетическому «генотипу» свидетельствует об абсолютном преимуществе селекционной линии 'Нутанс 4540' по урожайности и стабильности. Кроме неё, приближенными к идеату были селекционные линии 'Нутанс 4241' и 'Нутанс 4120'. Выделенные селекционные линии характеризовались устойчивостью и умеренной устойчивостью к основным листостебельным болезням и полеганию. **Выводы.** Использование АММИ и GGE biplot для оценки селекционных линий на завершающих этапах селекционного процесса позволяет более детально и наглядно характеризовать, а также дифференцировать их не только по средней урожайности, но и по взаимодействию с изменчивыми условиями годов испытаний. По стабильному уровню проявления урожайности в сочетании с другими хозяйственно ценными признаками выделены селекционные линии 'Нутанс 4540', 'Нутанс 4241' и 'Нутанс 4120', которые переданы на государственное сортоиспытание как новые сорта ячменя ярового 'МИП Мирный', 'МИП Салют' и 'МИП Сотник'.

**Ключевые слова:** ячмень яровой, селекционные линии, сорта, урожайность, стабильность, АММИ, GGE biplot.

UDC 633.16:631.527:631.524.84/.85

**Hudzenko, V. M.<sup>1\*</sup>, Demydov, O. A.<sup>1</sup>, Vasytkivskiy, S. P.<sup>1,2</sup>, & Koliadenko, S. S.<sup>3</sup>** (2017). Graphical analysis of adaptability of spring barley breeding lines in the Central Forest-Steppe zone of Ukraine. *Plant Varieties Studying and Protection*, 13(1), 20–27. <http://dx.doi.org/10.21498/2518-1017.1.2017.97233>

<sup>1</sup> V. M. Remeslo Myronivka Institute of Wheat of NAAS of Ukraine, Tsentralne, Myronivka district, Kyiv region, 08853, Ukraine, \*e-mail: barleys@mail.ru

<sup>2</sup> Bila Tserkva National Agrarian University, 8/1 Soborna ave., Bila Tserkva, Kyiv region, 09117, Ukraine

<sup>3</sup> Ukrainian Institute for Plant Variety Examination, 15 Henerala Rodymtseva Str., Kyiv, 03041, Ukraine

**Purpose.** To define spring barley breeding lines with an optimal combination of yielding capacity and stability under different weather conditions in the Central Forest-Steppe zone of Ukraine. **Methods.** Field studies, ANOVA, AMMI, GGE biplot analysis. **Results.** Hydrothermal regime during interphase periods of spring barley vegetation under conditions of The V. M. Remeslo Myronivka Institute of Wheat of NAAS in 2012–2014 was characterized by significant variability, that facilitated detailed evaluation of the lines for productivity, stability, and resistance to abiotic and biotic factors. In the performance of an experiment, the highest average

yielding capacity (5.87 t/ha) was noted in 2012, the lowest one (3.50 t/ha) was in 2013. As for these years, average yield of 4.63 t/ha was obtained in 2014. By applying AMMI and GGE biplot analysis, significant differences in response of the studied lines to variability of weather conditions was revealed. Using AMMI model, additive components of the main effects of the breeding lines and years of testing as well as multiplicative components of their interaction were characterized. GGE biplot genotypes ranking in relation to a hypothetical "ideal" genotype showed an absolute advantage of breeding line 'Nutans 4540' for yielding capacity and sta-

bility. In addition, breeding lines 'Nutans 4241' and 'Nutans 4120' were close to ideatype. Selected breeding lines were characterized by resistance and moderate resistance to leaf diseases and lodging. **Conclusions.** Use of AMMI and GGE biplot analysis to evaluate breeding lines at the final stages of breeding process allows to describe them thoroughly and graphically as well as differentiate them not only for average yielding capacity but also for their interaction with chan-

ging conditions during the years of testing. Breeding lines 'Nutans 4540', 'Nutans 4241', and 'Nutans 4120' to be identified for the stability of yielding capacity display in combination with other agronomic characters were transferred to the State variety testing as new spring barley varieties 'MIP Myrnyi', 'MIP Saliut', and 'MIP Sotnyk' respectively.

**Keywords:** *spring barley, breeding lines, varieties, yielding capacity, stability, AMMI, GGE biplot.*

Надійшла 12.01.2017

Погоджено до друку 23.02.2017