

УДК 633.16:631.527

## Графічний аналіз даних екологічного випробування сортів ячменю ярого (*Hordeum vulgare* L.) з використанням GGE biplot

**П. М. Солонечний**, кандидат сільськогосподарських наук  
Інститут рослинництва імені В. Я. Юр'єва НААН  
pashabarley86@gmail.com

**Мета.** Застосувати GGE biplot аналіз для оцінки мінливості врожайності сортів ячменю ярого та виділити найбільш цінні генотипи. **Методи.** Польові, математико-статистичні. **Результати.** GGE biplot у вигляді багатокутника показав, що середовища E1, E3 та E4 утворюють перше «мегасередовище», в якому «виграє» сорт Донецький 15, друге – середовище E2, в якому «виграє» сорт Взірець. Сорти Степовик та Донецький 14 мали найвищу середню врожайність, тоді як сорти Модерн, Вектор і Козван характеризувалися високою її стабільністю. Сорт Степовик виявився «ідеальним» генотипом з погляду поєднання врожайності та її стабільності порівняно з іншими генотипами. Сорти Донецький 14, Косар і Алегро також є цінними за врожайністю та її стабільністю. **Висновки.** За результатами досліджень рекомендовано використовувати GGE biplot для аналізу результатів екологічного випробування.

**Ключові слова:** GGE biplot, генотип, врожайність, екологічне випробування, стабільність, ячмінь ярий.

**Вступ.** Україна є одним з провідних експортерів зерна ячменю в світі, але важливою проблемою на шляху зміцнення її позицій на світовому ринку є значне коливання виробництва зерна ячменю за роками, що передусім зумовлено значною чутливістю сучасних сортів до біотичних та абіотичних стресів.

Важливе значення в розширенні виробництва зерна ячменю має створення та впровадження високоврожайних і стійких до екстремальних чинників сортів, які б відповідали сучасним вимогам сільськогосподарського виробництва.

Екологічне випробування є оптимальним методом для добору кращих генотипів для будь-якого специфічного середовища та виділення генотипів, що стабільно реалізують свій генетичний потенціал у широкому діапазоні середовищ. Результати екологічного випробування зазвичай мають дуже великий обсяг даних, тому виявити якісь загальні закономірності без графічного представлення досить складно.

W. Yan та ін. [1] розробили GGE biplot методологію для графічного аналізу результатів екологічного випробування. GGE (Genotype and Genotype–Environment Interaction) biplot є потужним інструментом для оцінки та візуалізації взаємодії генотип–середовище, йо-

го широко використовують селекціонери та рослинники в усьому світі [2–9].

GGE biplot будують з використанням перших двох базових компонентів (principal components) PC1 та PC2, одержаних шляхом обробки даних методом сингулярного розкладання. GGE biplot графічно відображає G плюс GE результати екологічного сорто-випробування таким чином, що візуальна оцінка сортів та ідентифікація «мегасередовищ» є дуже простою. В моделі зберігаються тільки два базові компоненти, оскільки вона є ефективнішою для виявлення закономірностей, дає змогу легко відобразити PC1 і PC2 на двовимірному біплоті таким чином, що взаємодія між кожним генотипом та кожним середовищем може бути візуалізована.

**Мета досліджень** – застосувати GGE biplot аналіз для оцінки мінливості врожайності сортів ячменю ярого в різних середовищах та виділення найцінніших генотипів.

**Матеріали та методика досліджень.** Вихідним матеріалом для досліджень були 17 сортів ячменю ярого селекції Інституту рослинництва імені В. Я. Юр'єва НААН і Донецької дослідної станції НААН. Для визначення їхнього адаптивного потенціалу в 2013–2014 рр. було проведено екологічне випробування сортів у двох пунктах у різних ґрунтово-кліма-

тичних зонах: Інститут рослинництва імені В. Я. Юр'єва НААН (Східний Лісостеп) та Донецька дослідна станція НААН (Північний Степ). Одержані дані проаналізували за допомогою GGE biplot. Базова модель GGE biplot має такий вигляд:

$$Y_{ij} - \mu - \beta_j = \lambda_1 \xi_{i1} \eta_{1j} + \lambda_2 \xi_{i2} \eta_{2j} + \varepsilon_{ij}$$

де  $Y_{ij}$  – середня врожайність генотипу  $i$  в середовищі  $j$ ,

$\mu$  – загальне середнє,

$\beta_j$  – середня врожайність усіх генотипів у середовищі  $j$ ,

$\lambda_1$  та  $\lambda_2$  – сингулярні точки (singular values (SV) першого та другого базових компонентів – PC1 та PC2,

$\xi_{i1}$  та  $\xi_{i2}$  – власні вектори генотипу  $i$  для PC1 і PC2 відповідно,

$\eta_{1j}$  та  $\eta_{2j}$  – власні вектори середовища  $j$  для PC1 і PC2 відповідно,

$\varepsilon_{ij}$  – залишок, пов'язаний з генотипом  $i$  в середовищі  $j$ .

Для побудови біплоту, який може бути використаний для візуального аналізу результатів екологічного випробування, сингулярні точки (SV) мають бути розподілені у власний вектор генотипу та середовища таким чином, щоб наведену модель можна було записати у вигляді:

$$Y_{ij} - \mu - \beta_j = g_{i1} e_{1j} + g_{i2} e_{2j} + \varepsilon_{ij}$$

де  $g_{i1} e_{1j}$  та  $g_{i2} e_{2j}$  – індекси PC1 і PC2 для генотипу  $i$  та середовища  $j$  відповідно.

На біплоті генотип  $i$  відображають як точку, визначену всіма значеннями  $g_i$ , середовище  $j$  зображують як точку, визначену всіма значеннями  $e_j$ .

Для побудови GGE biplot було використано програму Genstat 17.

**Результати досліджень.** Урожайність сортів варіювала як від умов середовища, за свідчуючи вплив екологічного чинника генотип-середовище, так і в межах кожного середовища між генотипами, демонструючи генотипову залежність (табл. 1).

GGE biplot дає змогу візуально оцінити дискримінаційну здатність та репрезентативність середовища як тестера для оцінки генотипів. Зображені на рисунку 1 вектори середовищ є пропорційними стандартному відхиленню врожайності генотипів у відповідному середовищі. Отже, середовища з довгими векторами мали високу дискримінаційну здатність, якщо ж маркер тестового

Таблиця 1

Урожайність сортів ячменю ярого в екологічному сортовипробуванні, т/га

Сорт	Код сорту	Східний Лісостеп		Північний Степ		Середнє
		2013 р.	2014 р.	2013 р.	2014 р.	
		E1	E2	E3	E4	
Взірець st	G1	2,66	7,03	2,91	3,04	3,91
Аграрій	G2	2,55	6,18	3,25	2,97	3,74
Алегро	G3	3,00	6,62	3,33	3,05	4,00
Вектор	G4	3,55	6,06	3,05	2,77	3,86
Вітраж	G5	3,33	5,82	3,06	2,78	3,75
Доказ	G6	2,35	6,56	2,97	2,73	3,65
Донецький 14	G7	3,82	5,55	3,60	3,12	4,02
Донецький 15	G8	3,97	5,62	3,47	2,96	4,01
Етикет	G9	2,31	4,78	2,67	2,70	3,12
Здобуток	G10	2,46	4,55	2,89	2,86	3,19
Інклюзив	G11	3,06	6,77	2,38	2,97	3,80
Козван	G12	3,35	6,46	3,20	2,92	3,98
Косар	G13	2,44	6,13	3,40	3,12	3,77
Модерн	G14	3,30	5,83	3,22	2,94	3,82
Партнер	G15	3,30	5,81	3,66	2,81	3,90
Степовик	G16	3,37	5,92	3,66	3,19	4,04
Східний	G17	3,42	5,41	3,26	3,12	3,80
Середнє		3,07	5,95	3,18	2,94	3,78

середовища є наближеним до центра біплоту, тобто має короткий вектор, тоді всі генотипи в ньому є близькими один до одного і середовище є неінформативним щодо їх диференціації. Таким чином, середовища E1 та E2 з довгими векторами характеризувалися високою дискримінаційною здатністю, середовище E4 – низькою.

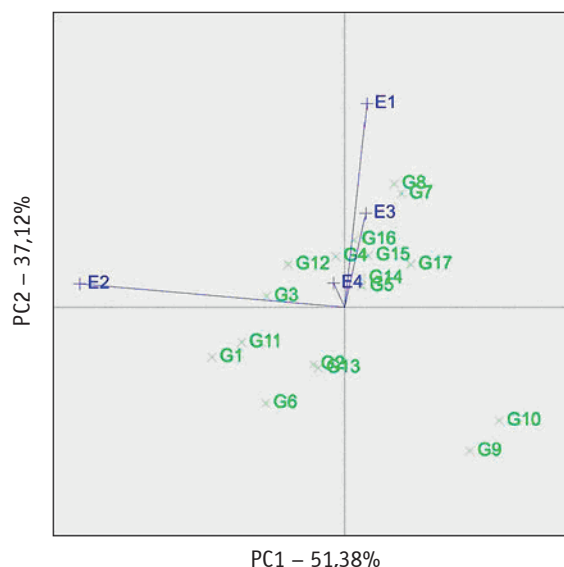


Рис. 1. GGE biplot дискримінаційної здатності та апроксимації середовищ

Косинус кута між векторами середовищ використовують для оцінки апроксимації між ними – чим менший кут між вектора-

ми середовищ, тим більшою між ними є кореляція. Відповідно, між середовищами E1 та E3 є дуже тісна кореляція.

GGE biplot метод оцінки репрезентативності середовищ має визначити середнє середовище та використовувати його як еталон для порівняння. Тестове середовище, що має невеликий кут з АЕС, є репрезентативнішим стосовно інших тестових середовищ. Ідеальним середовищем (на рисунку 2 позначено як коло зі стрілкою, що вказує на неї) є таке, яке краще диференціює генотипи, але при цьому є репрезентативним стосовно інших тестових середовищ. Отже, в нашому дослідженні середовище E1 було найпридатнішим для тестування генотипів.

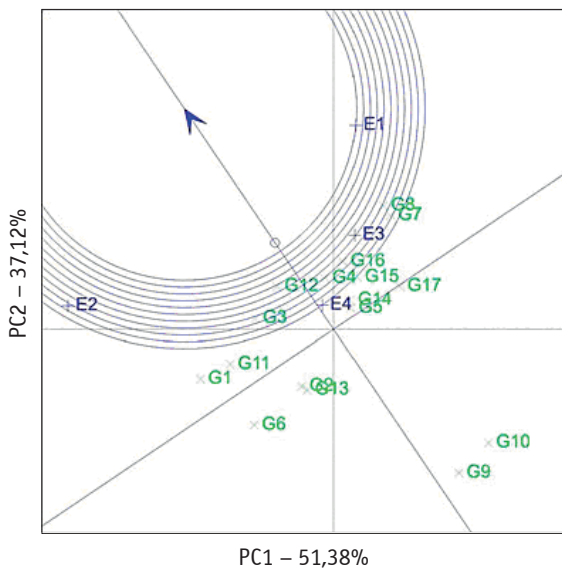


Рис. 2. GGE biplot порівняння середовищ з «ідеальним» середовищем

GGE biplot у вигляді багатокутника «which-won-where» (який генотип де виграє) є ефективним засобом візуалізації закономірностей взаємодії між генотипом і середовищем (рис. 3). Вершинами багатокутника є маркери генотипів, що максимально віддалені від центра біплоту. Лінії, що розділяють біплот на сектори, являють собою набір гіпотетичних середовищ. Якщо до одного сектора разом з маркером середовища (або кількох) потрапляє генотип на вершині кута багатокутника, то це означає, що в цьому середовищі саме у відповідного генотипу урожайність була найвищою. Іншою важливою властивістю цього біплоту є можливість групувати середовища в «мегасередовища». Отже, в наших дослідженнях перше «мегасередовище» утворюють середовища E1, E3 та E4, в якому «виграє» сорт Донецький 15 (G8), друге – середовище E2, в якому «виграє» сорт Взірєць (G1).

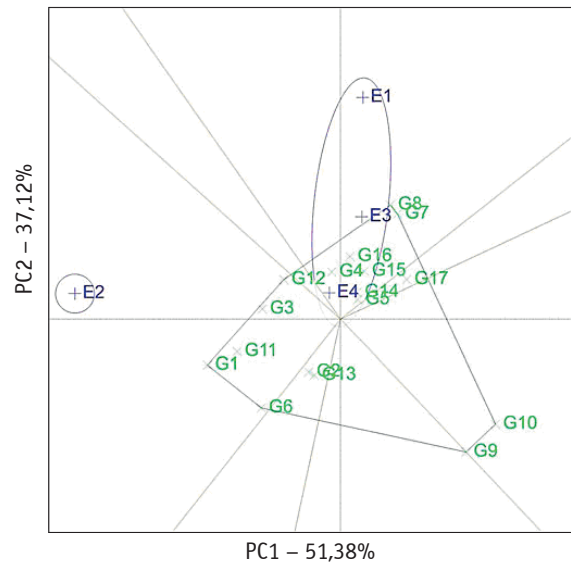


Рис. 3. Багатокутний GGE biplot «which-won-where» для генотипів і середовищ

GGE biplot дає можливість ранжувати генотипи за їхньою середньою врожайністю та стабільністю в декількох середовищах (рис. 4). Середня координата середовища [average environment coordinate (AEC) (вісь X)], або лінія врожайності, проходить через початок координат біплоту зі стрілкою, що позначає позитивний її кінець і ранжує генотипи за їхньою продуктивністю. Вісь Y АЕС, або вісь стабільності, проходить через початок координат перпендикулярно осі X АЕС. Середня врожайність генотипів оцінюється за проекцією своїх маркерів на вісь X АЕС. Сорти Степовик (G16) і Донецький 14 (G7) мали найвищу середню врожайність, сорт Етикет (G9) – найнижчу. Врожайність сортів Інклюзив (G11) і Взірєць (G1) була найбільш варіабельною, тоді як сорти Модерн (G14), Вектор (G4) і Козван (G12) характеризувалися високою її стабільністю.

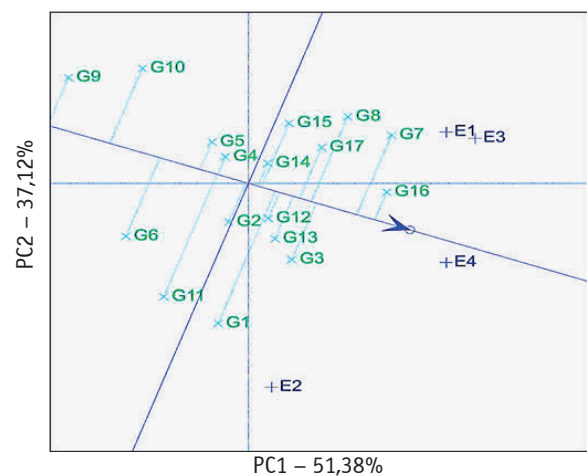


Рис. 4. GGE biplot середніх значень продуктивності й стабільності генотипів

У методиках оцінки адаптивних особливостей генотипів А. В. Кильчевского та В. В. Хангильдина [10, 11] є дуже важливий інтегральний показник «селекційна цінність генотипу», який визначає цінність генотипів за поєднанням рівня врожайності та її стабільності. GGE biplot також дає змогу ранжувати генотипи за селекційною цінністю. Центр концентричних кіл (рис. 5) являє собою положення ідеального генотипу, який визначається проекцією на середньосередовищну вісь, що дорівнює найдовшому вектору генотипів з продуктивністю вище середньої, та за нульовою проекцією на перпендикулярну лінію (нульова варіабельність по всіх середовищах). Чим більше генотип наближений до ідеального, тим він є ціннішим. Хоч такий «ідеальний» генотип може й не існувати в природі, його можна використовувати як еталон для оцінки генотипів.

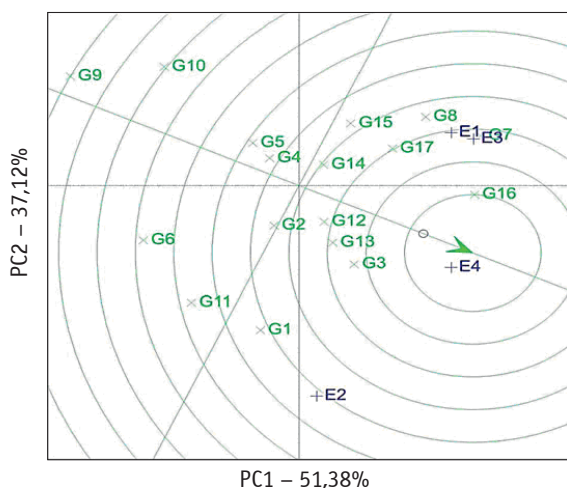


Рис. 5. GGE biplot порівняння генотипів з «ідеальним» генотипом

Така модель ранжування, яка базується на центрованому за генотипом масштабуванні, передбачає, що стабільність і середня врожайність є однаково важливими. Отже, сорт Степовик (G16), наближений до центра концентричних кіл, був «ідеальним» генотипом з погляду поєднання врожайності та

її стабільності порівняно з іншими генотипами. Сорти Донецький 14 (G7), Косар (G13) та Алегро (G3), локалізовані в наступному концентрованому колі, також є цінними за врожайністю та її стабільністю.

**Висновки.** GGE biplot аналіз можна рекомендувати для оцінки особливостей пунктів випробування та адаптивного потенціалу генотипів. Визначено, що середовище E1 було найпридатнішим для тестування генотипів за поєднанням дискримінаційної здатності та репрезентативності. За результатами досліджень виділено сорт ячменю ярого Степовик, що максимально наближений до «ідеального» генотипу за врожайністю та її стабільністю. За поєднанням урожайності та її стабільності виділено також сорти Донецький 14, Косар і Алегро.

### Використана література

- Cultivar evaluation and mega-environment investigation based on the GGE biplot / W. Yan, L. A. Hunt, Q. Shen, Z. Szlavnic // Crop Science. – 2000. – No 40. – P. 597–605.
- Gedif M. Genotype by Environment Interaction Analysis for Tuber Yield of Potato (*Solanum tuberosum* L.) Using a GGE Biplot Method in Amhara Region, Ethiopia / M. Gedif, D. Yizaw // Agricultural Sciences. – 2014. – No 5. – P. 239–249.
- Yan W. Biplot analysis of multi-environment trial data: principles and applications / W. Yan, N. A. Tinker // Can. J. Plant Sci. – 2006. – No 86. – P. 623–645.
- Gauch H. G. Statistical analysis of yield trials by AMMI and GGE / H. G. Gauch // Crop Science. – 2006. – No 46. – P. 1488–1500.
- Casanoves F. Evaluation of multi-environment trials of peanut cultivars / F. Casanoves, J. Baldessari, M. Balzarini. // Crop Science. – 2005. – No 45. – P. 18–26.
- GGE biplot vs. AMMI analysis of genotype-by-environment data / W. Yan, M. S. Kang, B. Ma [et al.] // Crop Science. – 2007. – No 47. – P. 643–655.
- Yan W. Singular-value partitioning in biplot analysis of multi-environment trial data / W. Yan // Agronomy Journal. – 2002. – No 94. – P. 990–996.
- Yan W. GGE biplot analysis: A graphical tool for breeders, geneticists and agronomists / W. Yan, M. S. Kang. – CRC press, Boca Raton, FL. – 2003. – 168 p.
- Yan W. Crop variety trials: Data Management and Analysis / W. Yan. – NY: John Wiley & Sons, 2014. – 360 p.
- Кильчевский А. В. Экологическая селекция растений / А. В. Кильчевский, Л. В. Хотылева. – Минск: Тэхналогія, 1997. – 372 с.
- Хангильдин В. В. Гомеостатичность и адаптивность сортов озимой пшеницы / В. В. Хангильдин, Н. А. Литвиненко // Науч.-техн. бюл. ВСГИ. – Одесса, 1981. – Вып. 39. – С. 8–14.

УДК 633.16:631.527

**П. Н. Солонечный.** Графический анализ результатов экологического испытания сортов ячменя ярого (*Hordeum vulgare* L.) с использованием GGE biplot // Сортовивчення та охорона прав на сорти рослин. – 2015. – № 1–2 (26–27). – С. 27–31.

**Цель.** Применить GGE biplot анализ для оценки изменчивости урожайности сортов ячменя ярого и выделить наиболее ценные генотипы. **Методы.** Полевые, математико-статистические. **Результаты.** GGE biplot в виде многоугольника показал, что сорт Донецкий 15 был лучшим в первой «мегасреде», которую образуют сре-

ды E1, E3 и E4, а сорт Взирец – в высокопродуктивной среде E2. Сорта Степовик и Донецкий 14 имели самую высокую среднюю урожайность, в то время как сорта Модерн, Вектор и Козван характеризовались высокой ее стабильностью. Сорт Степовик оказался «идеальным» генотипом с точки зрения сочетания урожайности и

ее стабильности по сравнению с остальными генотипами. Сорта Донецкий 14, Косар и Алегро также являются ценными по урожайности и стабильности. **Выводы.** По результатам исследований рекомендовано использовать

GGE biplot для анализа результатов экологического сортоиспытания.

**Ключевые слова:** GGE biplot, генотип, урожайность, экологическое сортоиспытание, стабильность, ячмень яровой.

UDC 633.16:631.527

**P. M. Solonechnyi.** Graphical analysis of data obtained during environmental test of spring barley varieties (*Hordeum vulgare* L.) using GGE biplot // Sortovvchennia ta okhorona prav na sorty roslyn (Plant Varieties Studying and Protection). – 2015. – № 1–2 (26–27). – P. 27–31.

**Purpose.** To use GGE biplot analysis for assessing variability of spring barley varieties yield and identify the most valuable genotypes. **Methods.** Field, mathematical-and-statistical ones. **Results.** GGE biplot in the form of polygon showed that environments E1, E3 and E4 form the first «megaenvironment» in which Donetskyi 15 variety «wins», environment E2 – the second «megaenvironment» in which Vzirets variety «wins». The varieties Stepovyk and Donetskyi 14 had the highest average yield while the varieties Modern, Vektor, and Kozvan were marked by their high sta-

bility. The Stepovyk variety appeared to be an «ideal» genotype in terms of combining yield capacity and its stability as compared to other genotypes. The Donetskyi 14, Kosar and Alegro varieties are also valuable regarding yield capacity and stability. **Conclusions.** According to the results of studies, GGE biplot is recommended to use for analysis of environmental test data.

**Keywords:** GGE biplot, genotype, yield capacity, environmental test, stability, spring barley.

Надійшла 1.04.15