УДК 633.16:631.527

П. М. Солонечний, канд. с.-г. наук, М. Р. Козаченко, д-р с.-г. наук,
Н. І. Васько, О. Г. Наумов, кандидати с.-г. наук
Інститут рослинництва ім. В. Я. Юр'єва НААН
О. Б. Бондарева, Ю. В. Логвиненко, кандидати с.-г. наук
Донецька державна сільськогосподарська дослідна станція НААН

ОЦІНКА ВЗАЄМОДІЇ ГЕНОТИП × СЕРЕДОВИЩЕ СОРТІВ ЯЧМЕНЮ ЯРОГО ЗА ДОПОМОГОЮ GGE BIPLOT АНАЛІЗУ

Наведено результати екологічного випробування семи сортів ячменю ярого в 2013-2014 рр., проаналізовані за допомогою GGE biplot. Визначено особливості середовищ як тестери для оцінки генотипів. За результатами досліджень виділено сорти ячменю ярого Козван та Алегро, що максимально наближені до «ідеального» генотипу за врожайністю та стабільністю. За результатами досліджень рекомендовано використовувати GGE biplot для аналізу результатів екологічного випробування.

Ключові слова: GGE biplot, ячмінь ярий, урожайність, екологічне випробування, стабільність, сорт, адаптивність

Постановка проблеми. В сучасних умовах агровиробники потребують сортів з високою врожайністю та якістю продукції, які б реалізовували свій генетичний потенціал за різних умов вирощування. Основною причиною коливання продуктивності генотипів в різних середовищах є взаємодія генотип × середовище. Щоб оцінити сорти за рівнем цієї взаємодії проводять їх екологічне випробування в кількох пунктах та протягом кількох років, що дозволяє виділити генотипи адаптовані до конкретних умов («вузька» адаптивність) або з високою і стабільною врожайністю в широкому діапазоні умов («широка» адаптивність).

Одержані в екологічних випробуваннях дані аналізують різними методами, але найбільш сучасним методом є GGE biplot аналіз [1-5], що забезпечує селекціонерів детальною візуальною оцінкою даних та дає змогу виділити найбільш продуктивні і стабільні генотипи і генотипи, пристосовані до конкретних умов, та ідентифікувати «мега-середовища» [6, 7].

Мета і завдання досліджень. Метою досліджень була оцінка результатів екологічного випробування сортів ячменю ярого із застосуванням GGE biplot для відбору найбільш урожайних та стабільних сортів.

Методика та вихідний матеріал. Вихідним матеріалом для

досліджень слугували 7 сортів ячменю ярого селекції Інституту рослинництва ім. В. Я. Юр'єва НААН: Аграрій, Алегро, Взірець, Доказ, Етикет, Козван та Модерн (на графіках наведено транслітеровану назву сортів). З метою визначення їх адаптивного потенціалу в 2013 – 2014 рр. було проведено їх екологічне випробування в двох пунктах, що знаходились у різних ґрунтово-кліматичних умовах: Інститут рослинництва ім. В. Я. Юр'єва НААН та Донецька державна сільськогосподарська дослідна станція НААН (на графіках позначені як IR та DDS відповідно).

Результати екологічного випробування були проаналізовані з допомогою GGE biplot. Графіки GGE biplot побудовані з використанням перших двох базових компонентів (principal component (PC1 та PC2), одержаних шляхом обробки даних методом сингулярного розкладання. В моделі зберігаються тільки дві базові компоненти, оскільки така модель є кращою для виявлення закономірностей, вона дозволяє легко відобразити PC1 і PC2 на двовимірному біплоті так, що взаємодія між кожним генотипом та кожним середовищем може бути візуальованою.

Усі графіки GGE biplot були побудовані з використанням програми «GGE biplot».

Результати та їх обговорення. Урожайність сортів варіювала як від умов середовища, засвідчуючи вплив екологічного фактора генотип-середовище, так і в межах кожного середовища між генотипами, демонструючи генотипову залежність (табл. 1).

1. Урожайність сортів ячменю ярого в екологічному випробуванні, т/га

Сорт	ІР ім. В. Я. Юр'єва		Донецька ДСГДС		Середнє
	2013 р.	2014 р.	2013 р.	2014 р.	
Аграрій	2,55	6,18	3,25	2,97	3,74
Алегро	3,00	6,62	3,33	3,05	4,00
Взірець	2,66	7,03	2,91	3,04	3,91
Доказ	2,35	6,56	2,97	2,73	3,65
Етикет	2,31	4,78	2,67	2,70	3,12
Козван	3,30	6,46	3,20	2,92	3,98
Модерн	3,35	5,83	3,22	2,94	3,82
Середнє	2,79	6,21	3,08	2,91	3,75

GGE biplot дозволяє оцінити дискримінаційну здатність та репрезентативність середовищ як тестери для оцінки генотипів. GGE biplot візуалює довжину векторів середовищ, які пропорційні стандартному відхиленню врожайності сортів у відповідному

середовищі (рис. 1). Якщо маркер тестового середовища наближений до центру біплоту, тобто має короткий вектор, тоді усі генотипи в ньому близькі один до одного і середовище є не інформативним щодо їх диференціації. Отже, середовища IR2013 та IR2014 з довгими векторами характеризуються високою дискримінаційною здатністю, а середовище DDS2014 – дуже низькою. Косинус кута між векторами середовищ використовується для оцінки взаємозв'язків між ними – кут менше 90º свідчить про наявність кореляції між середовищами. Відповідно, між середовищами DDS2013 та DDS2014, які мали гострий кут між векторами, є тісна кореляція.

Завдяки цьому біплоту тестові середовища можна поділити на три типи. Перший тип має короткі вектори і не дає достатньої інформації про генотипи (у наших дослідженнях це середовище DDS2014). Другий тип має довгі вектори та малі кути з віссю абсцис AEC і найкраще підходить для добору генотипів (середовище IR2013 найбільш наближене до цих параметрів). Третій тип має довгі вектори та великі кути з AEC. Вони не можуть бути використані для добору кращих генотипів, проте є корисними для бракування за стабільністю (середовище IR2014).

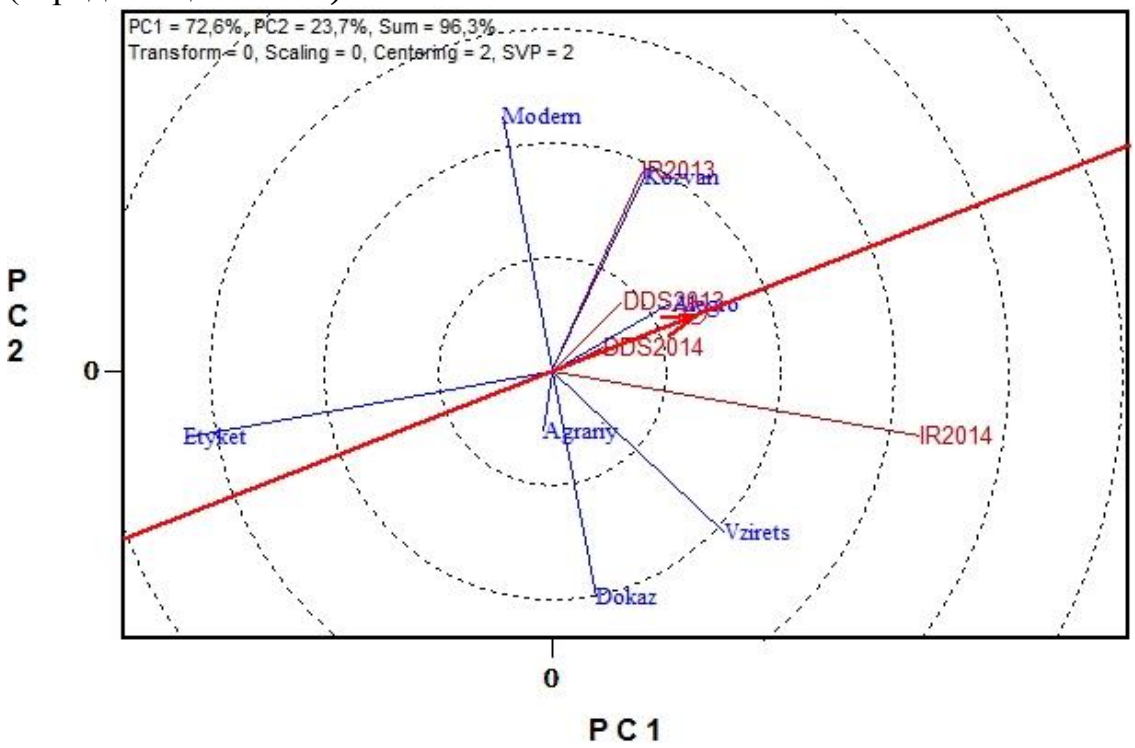

Рис. 1. GGE biplot дискримінаційної здатності та репрезентативності середовищ

GGE biplot у вигляді багатокутника «which-won-where» (який генотип де виграє) є ефективним засобом візуалізації закономірностей взаємодії між генотипом та середовищем і інтерпретації біплоту (рис. 1). Вершинами багатокутника є маркери генотипів, що

максимально віддалені від центру біплоту. Лінії, що розділяють біплот на сектори, являють собою набір гіпотетичних середовищ. Якщо до одного сектора разом з маркером середовища (або середовищ) потрапляє генотип на вершині кута багатокутника, то це означає, що у цьому середовищі саме у відповідного генотипу врожайність була найвищою. Вершинами кутів багатокутника в наших дослідження стали сорти Етикет, Модерн, Алегро, Взірець та Доказ. Тобто сорт Модерн був найбільш продуктивним серед досліджуваних сортів у середовищі IR2013, сорт Алегро у середовищах DDS2013 та DDS2014, а сорт Взірець – у високопродуктивному середовищі IR2014.

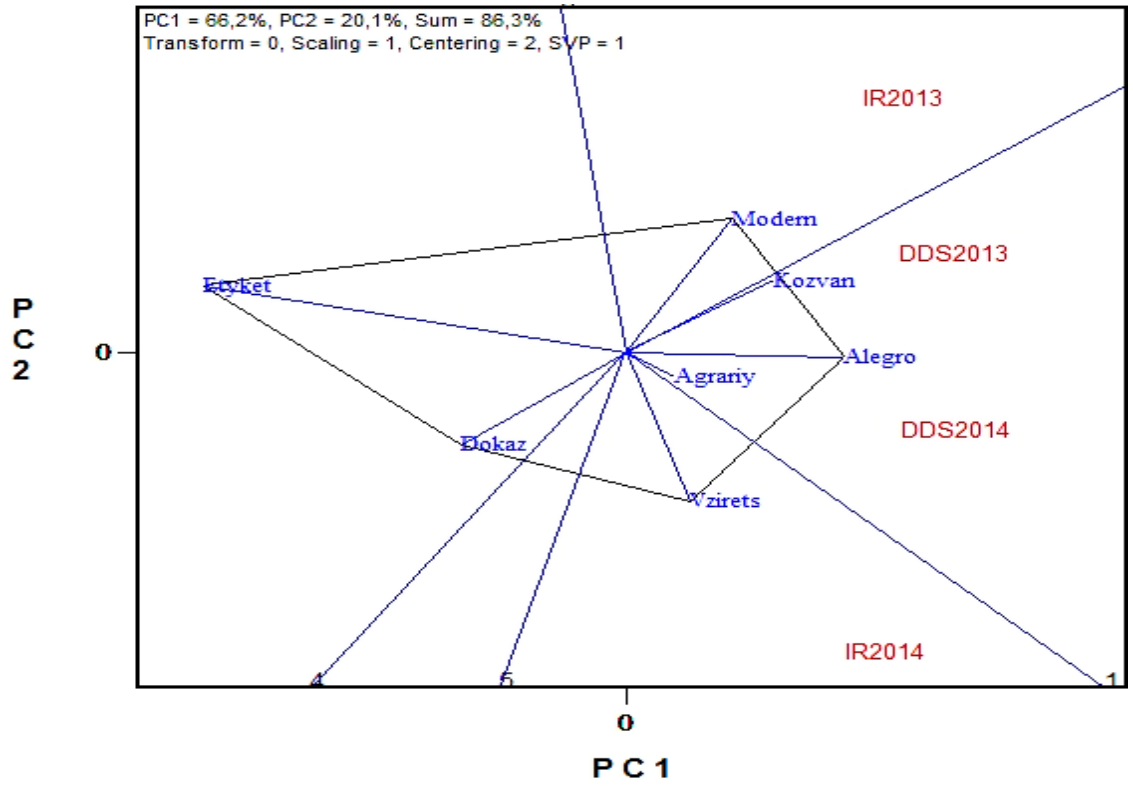

Рис 2. GGE biplot «which-won-where» для генотипів і середовищ

GGE biplot «Mean vs. Stability» (рис. 3) застосовується для порівняльної оцінки генотипів, яка базується на їх середній врожайності та стабільності в ряді середовищ. Середня тестерна координата (average tester coordinate (ATC) (вісь X), або лінія врожайності, проходить через початок координат біплоту зі стрілкою, що позначає позитивний її кінець і ранжує генотипи за їх урожайністю. Вісь Y ATC, або вісь стабільності, проходить через початок координат з подвійною стрілкою перпендикулярно осі X ATC. Середня врожайність генотипів оцінюється за проекцією своїх маркерів на вісь X ATC. Тобто, сорти Козван та Алегро мали найвищу середню врожайність, а сорт Етикет – найнижчу. Урожайність сортів Етикет, Модерн та

Взірець була найбільш варіабельною (найменш стабільною), тоді як сорти Козван, Аграрій та Алегро характеризувалися високою стабільністю.

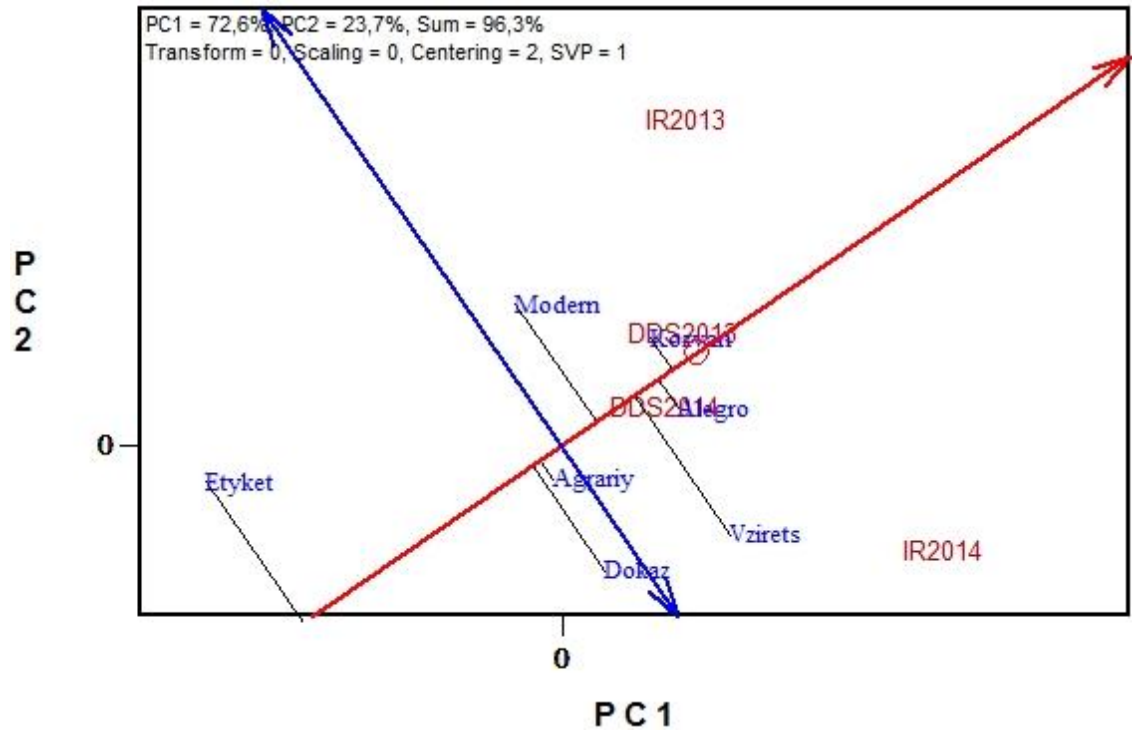

Рис. 3. GGE biplot середніх значень продуктивності і стабільності генотипів

В методиках оцінки адаптивних особливостей генотипів А. В. Кільчевського, Л. В. Хотильової [8] та В. В. Хангільдіна [9] є важливий інтегральний показник «селекційна цінність генотипу», який характеризує генотипи за поєднанням врожайності та її стабільності. GGE biplot також дає можливість ранжувати генотипи за «селекційною цінністю» Центр концентричних кіл (рис. 3) являє собою положення ідеального генотипу (генотипу з максимальною «селекційною цінністю»), який визначається проекцією на середньо-середовищну вісь, що дорівнює найдовшому вектору генотипів з урожайністю вище середньої, та за нульовою проекцією на перпендикулярну лінію (нульова варіабельність по всіх середовищах). Чим більше генотип наближений до ідеального, тим ціннішим він є. Хоча такий «ідеальний» генотип може і не існувати в природі, він може використовуватись як еталон для оцінки генотипів.

Оскільки одиниці виміру PC1 та PC2 для генотипів є оригінальними одиницями виміру врожайності при масштабуванні центрованому по генотипу, одиниці виміру абсциси АТС (середня врожайність) та ординати (стабільність) також повинні представляти оригінальні одиниці виміру врожайності. Одиниця відстані між

генотипом та «ідеальним» генотипом також являє оригінальну одиницю виміру врожайності. Таким чином, ранжування, яке базується на центрованому за генотипом масштабуванні, передбачає, що стабільність та середня врожайність є однаково важливими. Отже, сорти Козван та Алегро, наближені до центру концентричних кіл, були «ідеальними» сортами з точки зору більш високої врожайності та стабільності в порівнянні з іншими генотипами.

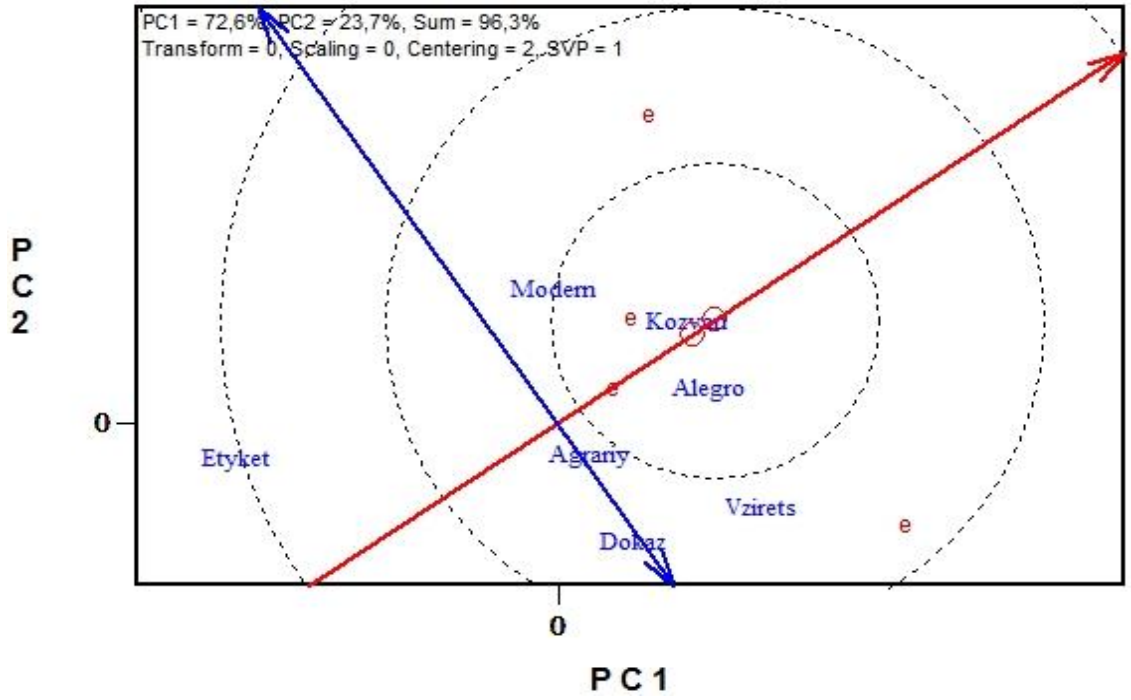

Рис. 4. GGE biplot, який базується на генотип-центрованому масштабуванні для порівняння генотипів з ідеальним генотипом

Висновки. Таким чином, з допомогою GGE biplot визначено особливості середовищ як тестери для оцінки генотипів. За результатами досліджень виділено сорти ячменю ярого Козван та Алегро, що максимально наближені до «ідеального» генотипу за врожайністю та стабільністю.

Отже, GGE biplot аналіз можна рекомендувати як повноцінну альтернативу найбільш поширеним методикам оцінки особливостей пунктів випробування та адаптивного потенціалу генотипів.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Yan W. Biplot analysis of multi-environment trial data: Principles and applications / W Yan, N. A. Tinker // Can. J. Plant Sci. –2006. – 86. – P. 623–645.

2. GGE biplot vs. AMMI analysis of genotype – by- environment data / W. Yan, M. S. Kang, B. Ma, S. Woods, P. L. Cornelius // Crop Science. – 2007. – 47. – P. 643-655.

3. Yan W. Singular-value partitioning in biplot analysis of multi-environment trial data / W. Yan // Agronomy Journal. – 2002. – 94 – P. 990-996.

4. Cultivar evaluation and mega-environment investigation based on the GGE biplot // W. Yan, L. A. Hunt, Q. Sheny, Z. Szlavnics // Crop Science. – 2000. 40. – P. 597-605.

5. Yan W. GGE biplot analysis: A graphical tool for breeders, geneticists and agronomists / W. Yan, M. S. Kang. – CRC press, Boca Raton, FL. – 2003.

6. 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.Yigzaw // Agricultural Sciences, 2014. – 5. – P. 239-249.

7. Pourdad S. S. Study on seed yield stability of sunflower inbred lines through GGE biplot / S. S. Pourdad, M. J. Moghaddam // Helia. – 2013. – 36. – Nr. 58. – P. 19-28.

8. Кильчевский А. В. Экологическая селекция растений / А. В. Кильчевский, Л. В. Хотылева. – Минск, Тэхнологія, 1997. – 372 с.

9. 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.

Стаття надійшла до редакції
29.05.2015 р.

П. Н. Солонечный, канд. с.-х. наук,
М. Р. Козаченко, д-р с.-х. наук,
Н. И. Васько, О. Г. Наумов, кандидаты с.-х. наук
Институт растениеводства им. В. Я. Юрьева НААН
О. Б. Бондарева, Ю. В. Логвиненко, кандидаты с.-х. наук
Донецкая государственная сельскохозяйственная опытная станция НААН

ОЦЕНКА ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ГЕНОТИП × СРЕДА СОРТОВ ЯЧМЕНЯ ЯРОВОГО С ПОМОЩЬЮ GGE BIPLOT АНАЛИЗА

Представлены результаты экологического испытания семи сортов ячменя ярового в 2013-2014 гг., проанализированные с помощью GGE biplot. Определены особенности сред в качестве тестеров для оценки генотипов. По результатам исследований выделены сорта ячменя ярового Козван и Алегро, максимально приближенные к «идеальному» генотипу по урожайности и стабильности. По результатам исследований рекомендовано использовать GGE biplot для анализа результатов экологического испытания.

Ключевые слова: GGE biplot, ячмень яровой, урожайность, экологическое испытание, стабильность, сорт, адаптивность.

P. M. Solonechnyi, M. R. Kozachenko, N. I. Vasko, A. G. Naumov,
Plant Production Institute nd. a V.Ya. Yuryev of NAAS
O. B. Bondareva, Y. V. Logvinenko
Donetsk State Agricultural Experimental Station of NAAS

EVALUATION OF GENOTYPE BY ENVIRONMENT INTERACTION OF SPRING BARLEY VARIETIES USING GGE BIPLOT ANALYSIS

The article presents of results of a multi environmental trial in seven varieties of spring barley conducted in 2013–2014 using GGE biplot analysis. The objective of this study was to determine the effect of genotype, environment and their interaction for grain yield and identify stable spring barley genotypes.

Seven spring barley varieties bred at the Plant Production Institute nd. a V.Ya. Yuryev of NAAS serves as source material. To determine their adaptive potential, in 2013-2014 an environmental trial was carried out in two locations with different soil and climatic conditions: Plant Production Institute nd. a V.Ya. Yuryev of NAAS (Eastern Forest-Steppe) and Donetsk State Agricultural Experiment Station of NAAS (Southern Steppe). The experimental layout was a randomized complete block design with three replications in each environment.

Peculiarities of trial locations as testers for estimating genotypes were established. Thus, environments IR2013 and IR2014 with long vectors had a high discriminating power, and environment DDS2014 was characterized by a low discriminating power. The cosine of the angle between environment vectors is used for assessment of approximation between them: the smaller the angle between environment vectors is, the larger correlation between them is. Correspondingly, there is a strong correlation between environments DDS2013 and DDS2014. Location environment IR2014 had long vectors and a large inclination angle with AEC abscissa, indicating their unsuitability as testers for selecting the best genotypes, but at the same time the applicability of their using as tester for selection for stability.According to the biplot of the “ideal” environment it was concluded that IR2013 was the closest to ideal environment and therefore the most desirable of all test environments.

The polygon view of GGE biplot showed that variety Modern was the highest yielding in environment IR2013. Moreover, variety Alegro exhibited the highest yield potential in environments DDS2013 and DDS2014, whereas variety Vzirets was the highest in environment IR2014. The varieties Kozvan and Alegro had the highest mean yield, and the variety Etyket – the lowest mean yield. The yields in the varieties Etyket, Modern and Vzirets (G1) had the most variable, while the varieties Kozvan, Agrariy and Alegro were noticeable for their high stability.

The varieties Kozvan and Alegro is noticeable for its maximum fidelity to the “ideal” genotype in terms of performance and stability.

This study clearly demonstrated that the GGE biplot model was found effective for determining the multi environmental trial data.

Key words: GGE biplot, spring barley, yield, multi environmental trial, stability, variety, adaptability