

Научная статья/Research Article

УДК 633.16:631.527

**Николай Валерьевич Тетяников<sup>1✉</sup>, Ольга Николаевна Ковалева<sup>2</sup>**<sup>1</sup>Федеральный научный селекционно-технологический центр садоводства и питомниководства, Москва, Россия<sup>2</sup>ФИЦ Всероссийский институт генетических ресурсов растений имени Н.И. Вавилова, Санкт-Петербург, Россия<sup>1</sup>tetyannikovnv@ya.ru<sup>2</sup>o.kovaleva@vir.nw.ru**ОЦЕНКА СТАБИЛЬНОСТИ УРОЖАЙНОСТИ ЯРОВОГО ЯЧМЕНЯ**

Цель исследований – определить долю влияния факторов в общей изменчивости урожайности ячменя и оценить стабильность с использованием параметрических и непараметрических методов статистики в условиях юга Московской области. По результатам исследования (2020–2022 гг.) выявлены достоверные вклады в вариабельность урожайности: условий среды – 81,9 %; генотипических особенностей – 7,4 и взаимодействия генотип × среда – 8,2 %. К числу превысивших стандарт отнесены 7 образцов (280,7–345,2 г/м<sup>2</sup>). Оценка по параметрическим ( $b_i$  – коэффициент регрессии;  $S^2d_i$  – отклонение от регрессии;  $\theta_i$  – средний компонент дисперсии;  $\theta_{(i)}$  – компонент дисперсии GE;  $W_i^2$  – экологическая валентность;  $\sigma^2$  – варианса стабильности; CV – коэффициент вариации) и непараметрическим ( $S^{(1,2,3,6)}$  – ранговые статистики;  $NP^{(i)}$  – непараметрическая статистика стабильности; KR – ранговая сумма) показателям стабильности позволила выявить различия в ответе исследуемой выборки на условия окружающей среды. Высокая корреляция отмечена между  $S^{(3)}$  и  $NP^{(4)}$  ( $r = 0,90$ ),  $S^{(1)}$  и  $S^{(2)}$  ( $r = 0,96$ ),  $S^{(6)}$  и  $NP^{(4)}$  ( $r = 0,98$ ),  $W_i^2$  и  $\sigma^2$ , ( $r = 1,00$ ),  $W_i^2$  и  $\theta_i$  ( $r = 1,00$ ),  $\sigma^2_i$  и  $\theta_i$  ( $r = 1,00$ ),  $W_i^2$  и  $\theta_{(i)}$  ( $r = -1,00$ ),  $\sigma^2_i$  и  $\theta_{(i)}$  ( $r = -1,00$ ),  $\theta_i$  и  $\theta_{(i)}$  ( $r = -1,00$ ). Связь с урожайностью у таких показателей, как  $S^{(1)}$ ,  $S^{(2)}$ ,  $S^{(3)}$ ,  $NP^{(1)}$ ,  $W_i^2$ ,  $\sigma^2_i$ ,  $S^2d_i$ , CV,  $\theta_i$ ,  $\theta_{(i)}$  была слабая, наибольшая сопряженность отмечена с  $b_i$  ( $r = 0,60$ ),  $NP^{(3)}$  ( $r = -0,67$ ),  $NP^{(4)}$  ( $r = -0,67$ ),  $S^{(6)}$  ( $r = -0,69$ ), KR ( $r = -0,71$ ),  $NP^{(2)}$  ( $r = -0,78$ ). Выделены образцы, с сочетанием стабильности и высокой урожайности Алей (к-31363, Россия), Максимус (к-31366, Россия), Austris (к-31368, Латвия), Поволжский луч (к-31392, Россия).

**Ключевые слова:** яровой ячмень, *Hordeum vulgare*, генотипические особенности, стабильность урожайности, изменчивость урожайности, параметрическая статистика, непараметрическая статистика

**Для цитирования:** Тетяников Н.В., Ковалева О.Н. Оценка стабильности урожайности ярового ячменя // Вестник КрасГАУ. 2024. № 1. С. 10–16.

**Благодарности:** исследование проведено в рамках реализации государственного задания ФГБНУ ФНЦ садоводства № 0432-2021-0003 «Сохранить, пополнить, изучить генетические коллекции сельскохозяйственных растений и создать репозитории плодовых и ягодных культур, заложенные свободными от вредоносных вирусов растениями».

**Nikolay Valeryevich Tetiannikov<sup>1✉</sup>, Olga Nikolaevna Kovaleva<sup>2</sup>**<sup>1</sup>Federal Scientific Selection and Technology Center for Horticulture and Nursery Growing, Moscow, Russia<sup>2</sup>FRC All-Russian Institute of Plant Genetic Resources named after N.I. Vavilov, St. Petersburg, Russia<sup>1</sup>tetyannikovnv@ya.ru<sup>2</sup>o.kovaleva@vir.nw.ru

## EVALUATION OF SPRING BARLEY YIELD STABILITY

The purpose of research is to determine the share of influence of factors in the overall variability of barley yield and assess stability using parametric and non-parametric statistical methods in the conditions of the south of the Moscow Region. According to the results of the study (2020–2022), significant contributions to yield variability were identified: environmental conditions – 81.9 %; genotypic characteristics – 7.4 and genotype × environment interaction – 8.2 %. 7 samples (280.7–345.2 g/m<sup>2</sup>) were classified as exceeding the standard. Evaluation by parametric ( $b_i$  – regression coefficient;  $S^2d_i$  – deviation from regression;  $\theta_i$  – average variance component;  $\theta_{(i)}$  – GE variance component;  $W_i^2$  – environmental valence;  $\sigma_i^2$  – stability variance; CV – coefficient of variation) and nonparametric ( $S^{(1,2,3,6)}$  – rank statistics;  $NP^{(i)}$  – non-parametric stability statistics; KR – rank sum) stability indicators allowed us to identify differences in the response of the sample under study to environmental conditions. A high correlation was noted between  $S^{(3)}$  и  $NP^{(4)}$  ( $r = 0,90$ ),  $S^{(1)}$  и  $S^{(2)}$  ( $r = 0,96$ ),  $S^{(6)}$  и  $NP^{(4)}$  ( $r = 0,98$ ),  $W_i^2$  и  $\sigma_i^2$  ( $r = 1,00$ ),  $W_i^2$  и  $\theta_i$  ( $r = 1,00$ ),  $\sigma_i^2$  и  $\theta_i$  ( $r = 1,00$ ),  $W_i^2$  и  $\theta_{(i)}$  ( $r = -1,00$ ),  $\sigma_i^2$  и  $\theta_{(i)}$  ( $r = -1,00$ ),  $\theta_i$  и  $\theta_{(i)}$  ( $r = -1,00$ ). Relationship with productivity in such indicators as  $S^{(1)}$ ,  $S^{(2)}$ ,  $S^{(3)}$ ,  $NP^{(1)}$ ,  $W_i^2$ ,  $\sigma_i^2$ ,  $S^2d_i$ , CV,  $\theta_i$ ,  $\theta_{(i)}$  was weak, the greatest association was noted with  $b_i$  ( $r = 0,60$ ),  $NP^{(3)}$  ( $r = -0,67$ ),  $NP^{(4)}$  ( $r = -0,67$ ),  $S^{(6)}$  ( $r = -0,69$ ), KR ( $r = -0,71$ ),  $NP^{(2)}$  ( $r = -0,78$ ). Samples with a combination of stability and high yield were identified: Alei (k-31363, Russia), Maximus (k-31366, Russia), Austris (k-31368, Latvia), Povolzhsky Luch (k-31392, Russia).

**Keywords:** spring barley, *Hordeum vulgare*, genotypic characteristics, yield stability, yield variability, parametric statistics, nonparametric statistics

**For citation:** Tetyannikov N.V., Kovaleva O.N. Evaluation of spring barley yield stability // Bulliten KrasSAU. 2024;(1): 10–16. (In Russ.).

**Acknowledgments:** research has been carried out within the framework of the State Assignment of FBSO ARHCBAN № 0432-2021-0003 “Preserve, replenish, and study genetic collections of agricultural plants and establish repositories of fruit and berry crops planted free of viruses”.

**Введение.** Из-за непостоянности климатических условий роль общей адаптивности, даже в относительно однородной эдафической среде, может быть определяющим условием для благоприятного роста и эффективной реализации генетического потенциала возделываемых сортов [1]. В достижении высокого урожая в различных условиях среды адаптивность и стабильность играют важную роль, и их повышение является одной из задач, стоящих перед селекционерами [2, 3].

Для ячменя урожайность является важным количественным показателем и хозяйственно ценным признаком, который во многом определяется факторами окружающей среды, генотипическими особенностями и эффектами их взаимодействия [4]. При этом существует множество статистических методов оценки взаимодействия между генотипом и средой, позволяющих интерпретировать данные многолетних испытаний, выделить перспективные генотипы или отбросить нестабильные сорта.

**Цель исследования** – определить долю влияния факторов в общей изменчивости урожайности ячменя и оценить стабильность с ис-

пользованием параметрических и непараметрических методов статистик в условиях юга Московской области.

**Объекты и методы.** Исследования проведены в 2020–2022 гг., в условиях юга Московской области, на дерново-подзолистых среднесуглинистых почвах (55°08'09.2"N 37°57'30.7"E). Объектом исследования послужили образцы ярового ячменя (41 шт.), полученные из ФИЦ Всероссийский институт генетических ресурсов растений им. Н.И. Вавилова (ВИР), относящиеся к подвиду двурядного ячменя. В качестве стандарта использовался сорт Зазерский 85. Площадь учетной деланки – 2 м<sup>2</sup>. Закладка полевого опыта, учеты и наблюдения за растениями выполнены в соответствии с «Методическими указаниями по изучению и сохранению мировой коллекции ячменя и овса» (2012) [5], «Методикой полевого опыта» Б.А. Доспехова (2014) [6]. Статистическая обработка экспериментальных данных проведена методами дисперсионного и корреляционного анализа. Расчет индекса условий среды ( $I$ ) выполнен согласно S.A. Eberhard и W.A. Russell [7]. Ранжирование и оценка стабильности урожайности проведена при помощи параметри-

ческих (коэффициент регрессии ( $b_i$ ; Finlay, Wilkinson, 1963), отклонение от регрессии ( $S^2d_i$ ; Eberhard, Russell, 1963), средний компонент дисперсии ( $\theta_i$ ; Plaisted, Peterson, 1959), компонент дисперсии GE ( $\theta_{(g)}$ ; Plaisted, 1960), экологическая валентность ( $W^2$ ; G. Wricke, 1962), варианса стабильности ( $\sigma^2$ ; Shukla, 1972), коэффициент вариации (CV, Francis, Kannenberg, 1978)) и непараметрических (ранговые статистики ( $S^{(1)}$ ,  $S^{(2)}$ ,

$S^{(3)}$ ,  $S^{(6)}$ , Nassar, Huhn, 1987; Huhn 1990), непараметрическая статистика стабильности ( $NP^{(i)}$ , Thennarasu, 1995), ранговая сумма (KR) (Kang, 1988)) методов при помощи программы STABILITYSOFT [8].

**Результаты и их обсуждение.** Климатические условия вегетационных периодов в годы исследования существенно отличались по тепло- и влагообеспеченности (табл. 1).

Таблица 1

### Климатические условия в годы проведения исследований

Месяц	n (1968–2021)		2020		2021		2022	
	$\bar{x}$	$\Sigma$	$\bar{x}$	$\Sigma$	$\bar{x}$	$\Sigma$	$\bar{x}$	$\Sigma$
Май	13,2	42,2	11,4	135,4	13,6	90,4	10,2	62,5
Июнь	17,2	60,8	18,3	159,7	19,7	85,5	18,2	28,7
Июль	19,2	70,1	18,6	106,8	21,6	51,0	20,3	48,6
Август	17,4	57,1	16,9	23,8	19,5	66,0	21,3	15,9
$\bar{x}$	16,8	–	16,3	–	18,6	–	17,5	–
$\Sigma$	–	230,2	–	425,7	–	292,9	–	155,7

*Примечание:* n – среднемноголетние значения (по данным гос. фондов Гидрометеоцентра);  $\bar{x}$  – среднесуточная температура воздуха, °C;  $\Sigma$  – сумма осадков, мм.

При расчете индекса условий среды ( $I_j$ ) было установлено, что вегетационные периоды 2020 и 2021 гг. были менее благоприятны для роста и формирования урожая ячменя, о чем говорят полученные отрицательные значения –8,97 и –16,77 соответственно. Наиболее оптимальные условия для развития растений наблюдались в 2022 г. – 25,73.

По результатам дисперсионного анализа было установлено достоверное влияние факто-

ров в общей изменчивости урожайности. Наибольший вклад вносил фактор «среда», отражающий климатические условия вегетационных периодов – 81,9 % (табл. 2).

За весь период проведения исследования (2020–2022 гг.) образцы ячменя демонстрировали широкий диапазон изменчивости урожайности (табл. 3).

Таблица 2

### Вклад факторов и их взаимодействия в формирование урожайности ячменя

Источник варьирования	df	mS	F <sub>факт.</sub>	Вклад в вариацию, %
Среда (env)	2	6174616,44	4047,07*	81,9
Генотип (gen)	40	27982,54	18,34*	7,4
Взаимодействие (gen×env)	80	15324,48	10,04*	8,2
Неучтенный фактор	246	1525,7	–	2,5

*Примечание:* df – степень свободы; mS – средний квадрат; (\*) – достоверно при  $P < 0,05$ .

## Урожайность ячменя в вегетационные периоды (2020–2022 гг.)

Код генотипа	Образец	Урожайность, г/м <sup>2</sup>			CV, %	Процент к стандарту
		min	max	$\bar{x}$		
G1	Eunova	112,8	475,7	251,2	78,11	94,1
G2	Concerto	137,5	432,8	244,5	66,90	91,6
G3	Djamila	41,5	317,1	182,0	75,75	68,2
G4	Henley	80,4	337,9	208,6	61,72	78,2
G5	KWS 09321	15,4	477,2	206,7	116,53	77,5
G6	Лида	35,3	394,7	214,2	83,91	80,3
G7	Алей	124,3	531,5	306,9	67,38	115,0
G8	Kangoos	70,2	410,4	203,5	89,24	76,3
G9	Чайна	45,2	476,7	262,3	82,26	98,3
G10	Максимус	113,9	661,7	345,2	82,17	129,4
G11	Kornelja	49,9	380,7	185,2	93,64	69,4
G12	Austris	175,4	602,5	319,3	76,81	119,7
G13	Тимошка	150,0	648,9	321,8	88,08	120,6
G14	Карабалыкский 110	30,1	520,8	210,3	128,41	78,8
G15	Волгоградский 08	20,6	454,6	196,7	116,02	73,7
G16	Волгоградский 12	43,5	401,7	216,7	82,77	81,2
G17	Francin	48,3	501,1	240,6	97,23	90,2
G18	Поволжский луч	144,8	528,8	298,7	67,97	112,0
G19	KWS Vermont	15,4	515,4	216,1	122,25	81,0
G20	Dimension	23,9	408,3	176,6	115,56	66,2
G21	Сударь	127,5	584,5	280,7	93,73	105,2
G22	Klarinette	78,3	623,1	263,8	117,97	98,9
G23	SC 101-12E	35,1	586,8	242,3	123,97	90,8
G24	Bettina	24,8	557,3	246,5	112,44	92,4
G25	Rapid	34,7	446,0	182,7	125,09	68,5
G26	Авалон	31,8	339,9	162,2	98,25	60,8
G27	Su Zaza	36,3	390,6	158,1	127,36	59,3
G28	Cupito	84,8	449,6	197,3	110,96	74,0
G29	Montoya	12,5	52,1	33,8	59,05	12,7
G30	Tatum	31,6	411,6	191,9	102,57	71,9
G31	Editha	31,8	387,1	162,1	120,67	60,8
G32	Kerstiin	32,6	557,5	235,0	120,11	88,1
G33	Salome	32,5	554,4	210,9	141,12	79,0
G34	Su Suren	20,2	463,9	177,2	140,33	66,4
G35	KWS Thessa	45,7	558,3	240,5	115,41	90,1
G36	Soldo	45,5	632,4	256,0	127,66	95,9
G37	Britny	24,1	525,6	242,4	106,01	90,9
G38	KWS Irina	41,3	586,4	230,1	134,21	86,2
G39	KWS Dante	13,4	606,4	244,1	130,13	91,5
G40	Fabiola	19,4	619,4	288,8	105,50	108,2
G41	Harbinger	27,1	437,0	213,9	96,96	80,2
<b>St</b>	<b>Зазерский 85</b>	<b>58,3</b>	<b>484,1</b>	<b>226,8</b>	<b>77,45</b>	<b>–</b>



**Заключение.** По результатам исследований установлено влияние климатических условий (81,9 %), генотипических особенностей (7,4 %) и взаимодействия данных факторов (8,2 %) на урожайность ячменя.

Слабая корреляция с урожайностью таких показателей, как  $S^{(1)}$ ,  $S^{(2)}$ ,  $S^{(3)}$ ,  $NP^{(1)}$ ,  $W_i^2$ ,  $\sigma^2_i$ ,  $S^2d_i$ ,  $CV$ ,  $\theta_i$ ,  $\theta_{(i)}$ , свидетельствует о возможности их применения для отбора стабильных генотипов, не ориентируясь на урожайность. Обратная связь с  $NP^{(2)}$ ,  $NP^{(3)}$ ,  $NP^{(4)}$ ,  $S^{(6)}$ ,  $KR$  говорит о меньшей связи данных показателей со стабильностью генотипов и о большей связи с урожайностью. Показатель  $b_i$  характеризовался более равномерным соотношением урожайности и стабильности. Выявленные закономерности могут быть использованы при оценке адаптивности исследуемых генотипов.

В зависимости от используемого показателя наблюдались изменения рангов изучаемых образцов. По результатам оценки выделены наиболее стабильные образцы Eupova (к-31356, Германия); Алей (к-31363, Россия); Максимус (к-31366, Россия); Austris (к-31368, Латвия); Волгоградский 08 (к-31371, Россия); Francin (к-31391, Чехия); Поволжский луч (к-31392, Россия); Dimension (к-31394, Франция). Из них образцы Алей, Максимус, Austris, Поволжский луч имели среднюю урожайность, превышающую стандарт на 12,0–29,4 %, что позволяет их рекомендовать для использования в качестве исходного материала для селекционных программ в условиях юга Московской области.

#### Список источников

1. Урожайность, пластичность, стабильность и гомеостатичность сортов ярового ячменя в условиях Нечерноземной зоны / Л.М. Ерошенко [и др.] // Тр. по прикладной ботанике, генетике и селекции. 2022. Т. 183, № 1. С. 38–47. DOI: 10.30901/2227-8834-2022-1-38-47.
2. Заушинцева А.В. Источники биологических свойств и хозяйственно ценных признаков для селекции ячменя // Вестник КрасГАУ. 2019. № 12(153). С. 64–68. DOI: 10.36718/1819-4036-2019-12-64-68.
3. Barley yield response to agroclimatic indices variability / L. Vasilescu [et al.] // Scientific Papers. Series A. Agronomy. 2022. Vol. 65(1). P. 567–576.

4. Analysis of promising barley (*Hordeum vulgare* L.) lines performance by AMMI and GGE biplot in multiple traits and environment / E. Kendal [et al.] // Applied Ecology and Environmental Research. 2019. Vol. 17(2). P. 5219–5233. DOI: 10.15666/aeer/1702\_52195233.
5. Лоскутов И.Г., Ковалева О.Н., Блинова Е.В. Методические указания по изучению и сохранению мировой коллекции ячменя и овса. СПб.: ВИР, 2012.
6. Доспехов Б.А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований). М.: Альянс, 2014.
7. Eberhart S.A., Russel W.A. Stability parameters for comparing varieties // Crop Science. 1966. Vol. 6 (1). P. 36–40.
8. STABILITYSOFT: A new online program to calculate parametric and non-parametric stability statistics for crop traits / A. Pour-Aboghadareh [et al.] // Applications in Plant Sciences. 2019. Vol. 7 (1). e1211. DOI: 10.1002/aps3.1211.

#### References

1. Urozhajnost', plastichnost', stabil'nost' i gomeostatichnost' sortov yarovogo yachmenya v usloviyah Nечерноземной зоны / L.M. Eroshenko [i dr.] // Tr. po prikladnoj botanike, genetike i selekcii. 2022. T. 183, № 1. S. 38–47. DOI: 10.30901/2227-8834-2022-1-38-47.
2. Zaushincena A.V. Istochniki biologicheskikh svojstv i hozyajstvenno cennykh priznakov dlya selekcii yachmenya // Vestnik KrasGAU. 2019. № 12(153). S. 64–68. DOI: 10.36718/1819-4036-2019-12-64-68.
3. Barley yield response to agroclimatic indices variability / L. Vasilescu [et al.] // Scientific Papers. Series A. Agronomy. 2022. Vol. 65(1). P. 567–576.
4. Analysis of promising barley (*Hordeum vulgare* L.) lines performance by AMMI and GGE biplot in multiple traits and environment / E. Kendal [et al.] // Applied Ecology and Environmental Research. 2019. Vol. 17(2). P. 5219–5233. DOI: 10.15666/aeer/1702\_52195233.
5. Loskutov I.G., Kovaleva O.N., Blinova E.V. Metodicheskie ukazaniya po izucheniyu i sohraneniyyu mirovoj kollekcii yachmenya i ovsya. SPb.: VIR, 2012.

6. *Dospehov B.A.* Metodika polevogo opyta (s osnovami statisticheskoy obrabotki rezul'tatov issledovaniy). M.: Al'yans, 2014.
7. *Eberhart S.A., Russel W.A.* Stability parameters for comparing varieties // *Crop Science*. 1966. Vol. 6 (1). P. 36–40.
8. STABILITYSOFT: A new online program to calculate parametric and non-parametric stability statistics for crop traits / *A. Pour-Aboughadareh* [et al.] // *Applications in Plant Sciences*. 2019. Vol. 7 (1). e1211. DOI: 10.1002/aps3.1211.

Статья принята к публикации 10.08.2023 / The article accepted for publication 10.08.2023.

Информация об авторах:

**Николай Валерьевич Тетяников**<sup>1</sup>, научный сотрудник лаборатории полевых культур отделения генофонда и биоресурсов растений, кандидат сельскохозяйственных наук

**Ольга Николаевна Ковалева**<sup>2</sup>, ведущий научный сотрудник отдела генетических ресурсов овса и ячменя, кандидат биологических наук

Information about the authors:

**Nikolay Valeryevich Tetiannikov**<sup>1</sup>, Researcher, Laboratory of Field Crops, Department of Gene Pool and Plant Bioresources, Candidate of Agricultural Sciences

**Olga Nikolaevna Kovaleva**<sup>2</sup>, Leading Researcher, Department of Genetic Resources of Oats and Barley, Candidate of Biological Sciences

