

СЕЛЕКЦИЯ И СЕМЕНОВОДСТВО СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ РАСТЕНИЙ

УДК 633.16»321»:631.526.32:631.529(470.313)

DOI: 10.31367/2079-8725-2024-91-2-5-12

ПАРАМЕТРЫ АДАПТИВНОСТИ ПРИЗНАКА «МАССА 1000 ЗЕРЕН» ЯЧМЕНЯ ЯРОВОГО В УСЛОВИЯХ РЯЗАНСКОЙ ОБЛАСТИ

О. В. Левакова, кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник отдела селекции и первичного семеноводства, levakova.olga@bk.ru, ORCID ID: 0000-0002-5400-669X
Институт семеноводства и агротехнологий – филиал Федерального бюджетного научного учреждения «Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ», 390502, Рязанская обл., с. Подвьязь, ул. Парковая, д. 1; e-mail: podvyaze@bk.ru

Целью работы являлось изучение экологической пластичности, адаптивности и стабильности признака «масса 1000 зерен» сортов ячменя ярового разного эколого-географического происхождения за три года исследований в условиях Рязанской области. Для анализа и изучения данного вопроса в 2021–2023 гг. на полях лаборатории селекции и первичного семеноводства ИСА – филиале ФГБНУ ФНАЦ ВИМ, расположенного в лесостепной агроклиматической зоне Рязанской области, проведены исследования 26 сортов коллекционного питомника. Для расчета параметров адаптивности использовали следующие коэффициенты и показатели: коэффициент адаптивности (КА), размах урожайности (d , %), показатель гомеостатичности (Hom_i), показатель уровня стабильности урожайности сорта (ПУСС, %), экологическую пластичность (коэффициент линейной регрессии) (b_i), стабильность признака (σ^2), индекс условий среды (I_i), фактор стабильности (SF), генетическую гибкость сорта ($(Y_{min}+Y_{max})/2$), стрессоустойчивость ($Y_{min}-Y_{max}$) и коэффициент отзывчивости на благоприятные условия выращивания (Kp), рассчитанные по соответствующим методикам. В ходе исследования установлено, что доминирующее влияние (66,4 %) на изменчивость признака «масса 1000 зерен» исследуемых сортов оказывает фактор «год» (условия роста и развития). Существенный вклад в формирование показателя «масса 1000 зерен» вносят метеорологические условия фазы налива зерна (июль) – ГТК ($r = +0,722$ $p = 0,01$) и количество осадков ($r = +0,637$, $p = 0,01$). Из исследованных 26 сортов 80,8 % относились к группе крупнозерных (масса 1000 зерен более 50,0 г), средняя сортовая урожайность сортов достаточно высокая – 6,84 т/га. На основе принципа ранжирования полученных показателей адаптивности признака «масса 1000 зерен» и его составляющих выделены сорта Добрый, Магутны (Республика Беларусь) и Ленетах (США), занявшие первое, второе и третье место соответственно в рейтинговой шкале. Данные сорта рекомендуется вовлекать в селекционную программу скрещивания для увеличения крупнозерности зерна.

Ключевые слова: яровой ячмень, признак «масса 1000 зерен», Рязанская область, экологическая пластичность, адаптивность, стабильность, рейтинговая шкала.

Для цитирования: Левакова О. В. Параметры адаптивности признака «масса 1000 зерен» ячменя ярового в условиях Рязанской области // Зерновое хозяйство России. 2024. Т. 16, № 2. С. 5–12. DOI: 10.31367/2079-8725-2024-91-2-5-12.



ADAPTABILITY PARAMETERS OF THE TRAIT '1000-GRAIN WEIGHT' OF SPRING BARLEY IN THE CONDITIONS OF THE RYAZAN REGION

O. V. Levakova, Candidate of Agricultural Sciences, leading researcher of the department of breeding and primary seed production, levakova.olga@bk.ru, ORCID ID: 0000-0002-5400-669X
Institute of Seed production and Agrotechnologies, Branch of the Federal Budgetary Scientific Institution "Federal Research Agro-Engineering Center VIM", 390502, Ryazan Region, Ryazan district, v. of Podvyaze, Parkovaya Str., 1; e-mail: podvyaze@bk.ru

The purpose of the current work was to study the ecological adaptability and stability of the trait '1000-grain weight' of spring barley varieties of different ecological and geographical origins over three years of research in the conditions of the Ryazan region. To analyze and study this issue 26 varieties of the collection nursery were studied on the fields of the laboratory of breeding and primary seed production of ISA, a branch of the FSBI FRAEC VIM, located in the forest-steppe agroclimatic zone of the Ryazan region in 2021–2023. To calculate the adaptability parameters, there were used the following coefficients and indicators: adaptability coefficient (AC), yield range (d , %), homeostatic index (Hom_i), variety yield stability level index (VISL, %), environmental adaptability (a linear regression coefficient) (b_i), stability of the trait (σ^2), index of environmental conditions (I_i), stability factor (SF), genetic flexibility of the variety ($(Y_{min}+Y_{max})/2$), stress resistance ($Y_{min}-Y_{max}$) and coefficient of responsiveness to favorable growing conditions (Cr), calculated using appropriate methods. The study has established that the dominant influence (66.4 %) on the variability of the trait '1000-grain weight' of the studied varieties is made by the factor "year" (growth and development conditions). A significant contribution to the formation of the indicator "weight of 1000 grains" is made by the meteorological conditions of the grain filling phase (July) – HTC ($r = +0.722$ $p = 0.01$) and the amount of precipitation ($r = +0.637$, $p = 0.01$). 80.8 % of the 26 varieties studied belonged to the large-grain group (1000-grain weight was more than

50.0 g), the average varietal yield of the varieties was quite high with 6.84 t/ha. Based on the principle of ranking the obtained indicators of adaptability of the trait '1000-grain weight' and its components, there were identified the varieties 'Dobry', 'Magutny' (Republic of Belarus) and 'Lenetah' (USA), which took, respectively, first, second and third places in the rating scale. It can be recommended to involve these varieties in a breeding crossbreeding program to increase grain size.

Keywords: spring barley, trait '1000-grain weight', Ryazan region, ecological adaptability, stability, rating scale.

Введение. Яровой ячмень – одна из важнейших сельскохозяйственных культур, что объясняется исключительной кормовой и пищевой ценностью зерна, высокой пластичностью культуры, способностью произрастать почти на всех широтах – от зон вечной мерзлоты до полупустынь (Левакова и др., 2023; Sanina, 2020).

Продуктивность – это комплексный показатель, формирующийся за счет различных элементов структуры урожая, которые находятся в сложной корреляции как между собой, так и с урожаем зерна. К одним из наиболее значимых элементов структуры урожая относится масса 1000 зерен (Левакова, 2022; Шоева и др., 2021). Она является надежным индикатором, отражающим реакцию генотипа на изменения условий среды при селекционной работе на адаптивность и продуктивность (Морозов и др., 2022).

Крупности зерна, выраженной ее массой, в селекционных и генетических исследованиях уделяется большое внимание (Dontsova et al., 2018). Данный показатель является сортовым признаком, но при этом может варьировать в зависимости от условий выращивания. Поэтому вектор в усилении селекции на адаптивность и стабильность признака «масса 1000 зерен» является приоритетным в современных условиях. Оценка адаптивности культур – один из способов решить вопрос с производством сортов, обладающих высоким адаптивным потенциалом (Полонский и др., 2020).

Полученные данные в конкретных условиях выращивания помогут правильно определить потенциал использования выделенных сортов в селекционной программе гибридизации культуры.

Цель исследований – изучение экологической пластичности, адаптивности и стабильности признака «масса 1000 зерен» сортов ячменя ярового разного эколого-географического происхождения за три года исследований в условиях Рязанской области.

Материалы и методы исследований. Работы по изучению и отбору генотипов ярового ячменя с высокими показателями признака «масса 1000 зерен» и их адаптационных свойств к условиям региона вели на полях лаборатории селекции и первичного семеноводства ИСА – филиале ФГБНУ ФНАЦ ВИМ в лесостепной агроклиматической зоне Рязанской области в 2021–2023 гг. в коллекционном питомнике. Объектом исследований являлись 26 сортов

разного эколого-географического происхождения. Закладку опыта, учеты и наблюдения осуществляли согласно методике полевого опыта Доспехова (2014), Государственного сортоиспытания (2019) и Методическим указаниям по изучению мировой коллекции ячменя и овса (2012). Стандартом служил районированный сорт Надежный (st), являющийся стандартом в сети Госсортоиспытания по Центральному региону. Закладку питомника проводили в 3-й декаде апреля – 1-й декаде мая шестирядковой сеялкой ССКФ-7М по типу мелкоделяночного полевого опыта (площадь делянки 3 м² без повторений с частым стандартом) по предшественнику чистый пар. Норма высева составляла 500 всхожих зерен на 1,0 м². Под предпосевную культивацию вносили минеральные удобрения из расчета (NPK)₆₄ д.в. в виде азофоски (N₁₆P₁₆K₁₆).

Метеорологические условия мая–июля (по данным метеостанции ИСА – филиала ФГБНУ ФНАЦ ВИМ) за весь период исследований отличались крайней неравномерностью распределения осадков и показателей среднесуточной температуры воздуха по фазам развития ячменя (рис. 1).

В 2021 г. отмечались резкие перепады среднесуточных температур воздуха в течение вегетации и неравномерная влагообеспеченность (ГТК = 0,70). Вегетационный период 2022 г. являлся засушливым (ГТК = 0,53). Сильная засуха проявилась в июле, среднесуточная температура имела повышенные значения – дневные температуры достигали 28 °C – 34 °C, а среднесуточные – на 5,2 °C больше среднемесячных значений. Вегетационный период 2023 г. характеризовался оптимальным значением по гидротермическому коэффициенту – ГТК = 0,90. Температурный режим практически соответствовал среднемесячным значениям, а осадки выпадали крайне неравномерно и в виде ливневых дождей. Но важные этапы органогенеза (кущение, выход в трубку, колошение) проходили со значительным недобором влаги в почве.

В целом такие климатические условия за годы исследований позволили оценить коллекционный материал по урожайности и признаку «масса 1000 зерен».

Уборку питомника производили селекционным комбайном Сампо-130. После уборки зерно с делянок взвешивали и приводили к 14,0 % влажности с соответственным пересчетом в т/га.

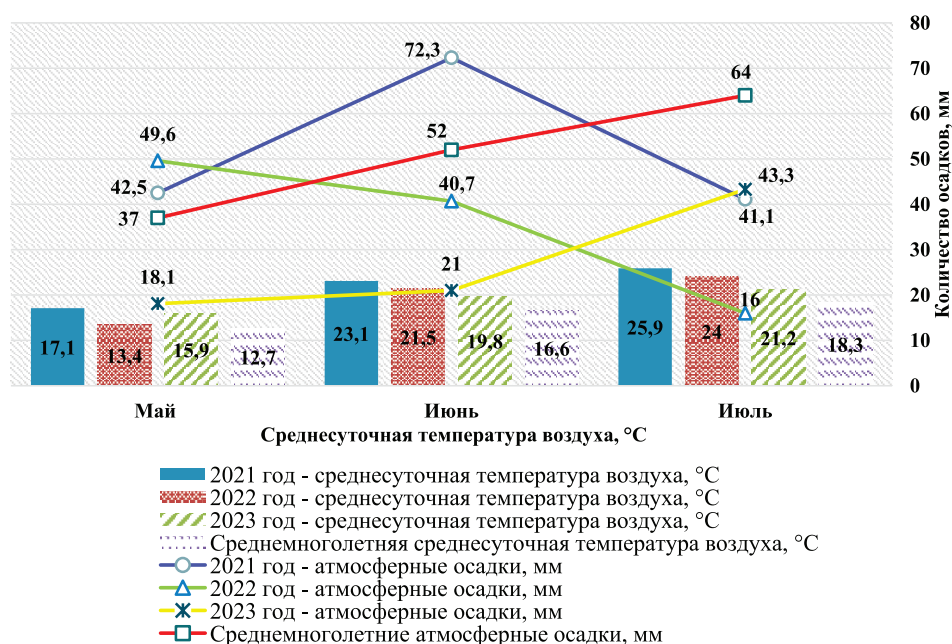


Рис. 1. Метеорологические условия (распределение атмосферных осадков (мм) и среднесуточных температур воздуха (°C)) периода вегетации ярового ячменя (2021–2023 гг.)
Fig. 1. Weather conditions (distribution of atmospheric precipitation (mm) and average daily air temperatures (°C)) during a spring barley vegetation period (2021–2023)

В основу всех расчетов заложен признак «масса 1000 зерен». Математическую оценку результатов исследований проводили по методике Б. А. Доспехова (2014). Статистические расчеты экологической адаптивности определяли по методикам: коэффициент адаптивности (КА) по Л. А. Животковой с соавторами (1994); размах урожайности (d , %) по В. А. Зыкину с соавторами (1984); показатель гомеостатичности (Hom_i) по В. В. Хангильдину, (1977); показатель уровня стабильности урожайности сорта (ПУСС i , %) по Э. Д. Неттевичу с соавторами (1985); экологическую пластичность (коэффициент линейной регрессии b_i), стабильность признака ($\sigma^2 d$) и индекс условий среды (I_j) по методике С. А. Эберхарта и У. А. Рассела (S. A. Eberhart и W. A. Russell) в изложении В. З. Пакудина (1984); фактор стабильности (SF) по D. Lewis (1954); генетическую гибкость сорта ($Y_{min} + Y_{max} / 2$) и стрессоустойчивость ($Y_{min} - Y_{max}$) по мето-

дике А. А. Росиелле, J. Hamblin в изложении А. А. Гончаренко (2005); коэффициент отзывчивости на благоприятные условия выращивания (K_p) определяли по методу В. А. Зыкина (2005).

Определение массы 1000 семян по ГОСТу 12042-89 с помощью автоматического счетчика семян SLY-C Plus (Китай).

Результаты и их обсуждение. Урожайность сорта – главный параметр, определяющий ценность генотипа и зависящий от показателей структурных элементов. В опыте определен индекс условий среды (I_j), который показывает агроклиматическое влияние на реализацию потенциала продуктивности всего набора сортов в конкретном году. Средняя сортовая урожайность выбранных для исследований сортов достаточно высокая – 6,84 т/га с вариацией от 6,37 т/га у сорта Проза (Чехия) до 7,62 т/га у сорта Стратус (Польша) (табл. 1).

Таблица 1. Урожайность и показатель «масса 1000 зерен» исследованных сортов ячменя ярового (2021–2023 гг.)
Table 1. Productivity and the indicator '1000-grain weight' of the studied spring barley varieties (2021–2023)

Сорт	Происхождение	Урожайность, т/га					Масса 1000 зерен, г				
		2021	2022	2023	Y_i^{**}		2021	2022	2023	Y_i^{**}	C_v , %**
Яромир	РФ	5,33	7,00	7,17	6,50		47,0	50,2	51,0	49,4	4,1
Надежный, st		5,50	7,50	7,28	6,76		44,2	47,6	48,7	46,8	4,4
Знатный		4,33	7,53	7,50	6,45		46,6	50,8	52,8	50,1	5,9
Калита		5,50	7,70	7,50	6,90		51,0	55,0	59,4	55,1	7,4
Велес		5,83	7,97	6,50	6,77		45,0	49,2	54,3	49,5	8,7
Батяка	РБ	5,90	8,60	8,00	7,50		49,6	48,8	55,2	51,2	6,6
Добрый		5,13	7,89	7,00	6,67		53,8	53,8	56,7	54,8	3,0
Магутны		6,20	8,00	6,70	6,97		52,0	54,4	53,2	53,2	2,3
Фэст		5,33	8,01	6,70	6,68		49,4	51,2	52,9	51,2	3,5
Гонар		6,83	6,67	7,50	7,00		47,6	50,2	57,2	51,7	9,7
Атаман		5,83	6,18	7,30	6,43		47,0	49,8	51,2	49,3	4,1

Продолжение табл. 1

Сорт	Происхождение	Урожайность, т/га				Масса 1000 зерен, г				
		2021	2022	2023	Y _i **	2021	2022	2023	Y _i **	Cv, %**
Черло	Франция	4,67	8,80	7,00	6,82	47,2	52,8	55,5	51,8	7,7
Кангу		5,40	7,60	6,50	6,50	48,0	51,8	55,7	51,8	7,2
Ралид		5,07	7,53	8,67	7,09	49,4	52,6	57,6	53,2	8,0
ЛГ Набуко		5,90	6,46	7,83	6,73	51,0	53,6	55,8	53,5	4,6
Алисиа		5,43	8,17	8,50	7,36	54,4	56,4	61,0	57,3	6,4
Бамбина	Германия	5,43	8,07	7,83	7,11	49,2	53,0	57,8	53,3	8,1
КВС Вермонт		3,90	7,98	8,17	6,68	47,6	54,2	56,9	52,9	8,4
Чилл		5,07	8,77	6,67	6,83	49,6	56,8	59,7	55,4	9,8
Лауреат	Швейцария	6,13	7,31	8,50	7,31	48,4	51,4	59,2	53,0	10,5
Квенч		5,07	7,87	7,50	6,81	44,8	50,2	53,8	49,6	8,2
Кроссвей	Дания	4,57	8,33	6,83	6,57	47,4	51,8	55,1	51,4	7,3
Проза	Чехия	4,23	7,70	7,20	6,37	50,8	50,4	54,3	51,8	4,3
Стратус	Польша	6,67	8,20	8,00	7,62	49,6	55,6	59,7	55,0	9,9
Ленетах	США	4,27	8,23	6,67	6,39	53,4	51,8	55,1	53,4	3,2
Дункан	Канада	5,57	7,83	8,00	7,13	49,6	51,8	53,2	51,5	3,3
Y _i **		5,35	7,80	7,43	6,84	49,0	52,1	55,5	52,2	6,4
НСР ₀₅ **		0,40	0,43	0,37	—	0,32	0,16	0,09	—	—
ΣY _i **		139,1	201,9	193,0	178,0	1273,6	1355,2	1443,0	1357,2	—
I _j **		-1,49	+0,92	+0,58	—	-3,22	-0,08	+3,30	—	—
r**		-0,010	+0,341*	+0,407*	+0,050	—	—	—	—	—

Примечания. * – значимо при $p = 0,05$; **средний показатель по сортам (Y_i); средний показатель по годам (Y_j); сумма показателей всех сортов за определенный год (ΣY_i); индекс условий среды (I_j); корреляционная связь между урожайностью и показателем «масса 1000 зерен» (r); наименьшая существенная разность для 5%-го уровня значимости ($НСР_{05}$); коэффициент вариации (Cv , %).

При расчете I_j установили, что менее благоприятным годом по полученной урожайности сортов был 2021 г. со средней урожайностью 5,35 т/га и индексом, равным -1,49. Аналогичные данные индекса среды (-3,22) в данном году получены и по показателю «масса 1000 зерен» – 49,0 г. Более благоприятными факторами среды для роста и развития ячменя ярового характеризовались 2022–2023 гг. ($I_j = +0,58...+0,92$), где и были получены максимальные урожайности набора исследуемых образцов – 7,43–7,80 т/га.

Согласно Международному классификатору СЭВ рода *Hordeum* L. (1983) в среднем за 2021–2023 гг. 80,8 % изучаемых генотипов относились к группе крупнозерных (масса 1000 зерен более 50,0 г). За годы исследования наиболее благоприятные условия для формирования крупного зерна сложились в 2023 г. ($I_j = +3,30$), когда признак «масса 1000 зерен» у большинства образцов (96,2 %) составил от 51,2 до 61,0 г. Худшие условия для налива зерна сложились в 2021 г. – индекс среды имел отрицательное значение ($I_j = -3,22$), а средний показатель «масса 1000 зерен» варьировал от 44,2 г (Надежный (st), Россия) до 54,4 г (Алисиа, Франция).

Проведенный корреляционный анализ показал, что показатель «масса 1000 зерен» имеет среднюю достоверную связь с урожайно-

стью в засушливый 2022 г. ($r = +0,341$, $p = 0,05$) и в оптимальный 2023 г. ($r = +0,407$, $p = 0,05$). Значимую достоверную роль на показатель «масса 1000 зерен» оказали метеорологические условия июля (когда происходит налив зерна), в частности, ГТК ($r = +0,722$, $p = 0,01$) и количество осадков ($r = +0,637$, $p = 0,01$).

Признак «масса 1000 зерен» – сортовой признак, в значительной степени зависит от условий возделывания. Полученные данные коэффициента вариации показывают, что практически весь набор выбранных для исследований сортов имеет незначительные отклонения по данному показателю – Cv , % < 10,0, кроме сорта Лауреат (Швейцария) – Cv , % = 10,5.

По результатам двухфакторного дисперсионного анализа ($p = 0,05$) выявлен существенный вклад условий выращивания (фактор А – год) в формирование признака «масса 1000 зерен» ячменя ярового – 66,4 %, влияние генотипа сорта (фактор В – сорт) был на уровне 4,6 %. Доля взаимодействия факторов (А × В) составила 27,6 %, неучтенный фактор составил 1,4 % (рис. 2).

Наряду с дисперсионным анализом, учитывающим взаимодействие генотипо-средовых связей, проанализированы показатели адаптивности (табл. 2).

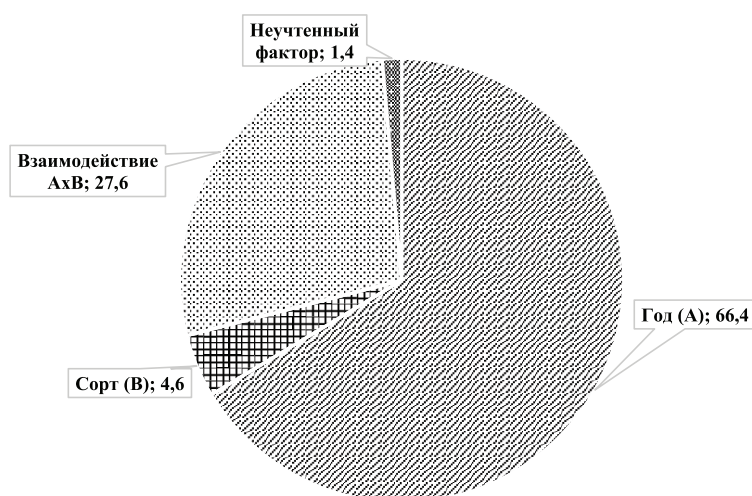


Рис. 2. Влияние факторов (%) на формирование признака «масса 1000 зерен» (2021–2023 гг.)

Fig. 2. Effect of the factors (%) on the formation of the trait '1000-grain weight' (2021–2023)

Таблица 2. Параметры адаптивных свойств и экологической устойчивости показателя «масса 1000 зерен» у исследованных сортов ячменя ярового (2021–2023 гг.)
Table 2. Parameters of adaptive properties and environmental sustainability of the trait '1000-grain weight' of the studied spring barley varieties (2021–2023)

Сорт	b_i	σd^2	SF	KA	Homi	ПУСС, %	d, %	$Y_{min} + Y_{max}/2$	$Y_{min} - Y_{max}$	Kp	Место в рейтинговой шкале
Яромир	+0,61	8,0	1,02	0,95	12,0	119,5	0,08	49,0	-4,0	1,09	18
Надежный, st	+0,69	10,1	1,12	0,90	10,6	100,0	0,09	46,5	-4,5	1,10	20
Знатный	+0,94	18,6	1,13	0,96	8,5	85,8	0,12	49,7	-6,2	1,13	17
Калита	+1,28	34,4	1,16	1,06	7,5	83,3	0,14	55,2	-8,4	1,16	6
Велес	+1,42	25,7	1,21	0,95	5,7	56,9	0,17	49,7	-9,3	1,21	25
Батяка	+0,87	16,2	1,11	0,98	7,8	80,5	0,12	52,0	-6,4	1,11	22
Добрый	+0,48	5,2	1,05	1,05	18,3	202,2	0,05	55,3	-2,9	1,05	1
Магутны	+0,18	0,7	1,05	1,02	23,1	247,7	0,04	53,2	-2,4	1,02	2
Фэст	+0,56	6,5	1,07	0,98	14,6	156,6	0,07	51,2	-3,5	1,07	9
Гонар	+1,47	46,0	1,20	0,99	5,3	55,2	0,17	52,4	-9,6	1,20	24
Атаман	+0,64	8,8	1,09	0,95	12,0	119,3	0,08	49,1	-4,2	1,09	15
Черло	+1,25	29,0	1,18	0,99	6,47	67,6	0,15	51,4	-8,3	1,18	23
Кангу	+1,17	29,6	1,16	0,99	7,2	75,2	0,14	51,9	-7,7	1,16	14
Рapid	+1,25	32,8	1,17	1,02	6,7	71,8	0,14	53,5	-8,2	1,17	11
ЛГ Набуко	+0,73	11,5	1,09	1,03	11,6	125,1	0,09	53,4	-4,8	1,09	5
Алисия	+1,00	21,1	1,12	1,09	8,9	102,8	0,11	57,7	-6,6	1,12	4
Бамбина	+1,31	36,1	1,17	0,99	6,6	70,9	0,08	53,5	-8,6	1,17	12
КВС Вермонт	+1,40	41,5	1,20	1,01	6,3	67,2	0,16	52,3	-9,3	1,20	16
Чилл	+1,53	49,0	1,20	1,06	5,7	63,7	0,17	54,7	-10,1	1,20	10
Лауреат	+1,65	57,3	1,22	1,02	5,0	53,4	0,18	53,8	-10,8	1,22	21
Квенч	+1,37	39,7	1,20	0,94	6,0	60,0	0,17	49,3	-9,0	1,20	26
Кроссвей	+1,17	29,6	1,16	0,98	7,0	72,5	0,14	51,3	-7,7	1,16	19
Проза	+0,55	6,5	1,07	1,00	12,0	125,3	0,07	52,4	-3,9	1,07	7
Стратус	+1,53	55,3	1,20	1,05	5,6	62,1	0,17	54,7	-10,1	1,20	13
Ленетах	+0,27	1,6	1,06	1,02	16,7	179,8	0,06	53,5	-3,3	1,03	3
Дункан	+0,99	21,1	1,07	0,99	15,6	162,0	0,07	51,4	-3,6	1,07	8

Примечания.* – коэффициент пластичности (b_i); коэффициент стабильности (σd^2); фактор фенотипической стабильности (SF); коэффициент адаптивности (KA); показатель уровня стабильности сорта (ПУСС); гомеостатичность (Homi); размах показателя (d, %); генетическая гибкость ($Y_{min} + Y_{max}/2$); стрессоустойчивость ($Y_{min} - Y_{max}$); коэффициент отзывчивости на благоприятные условия среды (Kp).

На основе вычисленных для каждого генотипа коэффициентов регрессии (b_i) установлено, что данный показатель находится в широких пределах варьирования – от 0,27 у сорта Ленетах (США) до 1,65 у сорта Лауреат

(Швейцария). Коэффициент регрессии свыше единицы отмечен у 53,9 % исследуемых образцов, которые можно отнести к высокопластичным сортам. Максимальными показателями данного признака отличились сорта Велес

(Россия), Гонар (Республика Беларусь), КВС Вермонт (Германия), Чилл (Германия), Лауреат (Швейцария), Стратус (Польша) ($b_i \geq 1,40$). К сортам нейтрального типа, которые являются более адаптивными к условиям региона и в меньшей мере снижают показатель «масса 1000 зерен», отнесены Яромир, Надежный, Знатный (Россия); Батка, Добрый, Магутны, Фэст, Атаман (Республика Беларусь); ЛГ Набуко (Франция); Проза (Чехия); Ленетах (США) (b_i = от 0,27 до 0,94).

Следуя модели расчета S.A. Eberhart и W.A. Russel, в практическом плане высокоценными генотипами принято считать те, у которых $b_i > 1,0$, а коэффициент стабильности (σd^2), или среднеквадратическое отклонение от линии регрессии, стремится к нулю. По данным параметрам выделена группа французских сортов Черло ($b_i = 1,25$; $\sigma d^2 = 29,0$), Кангу ($b_i = 1,17$; $\sigma d^2 = 29,6$), Рапид ($b_i = 1,25$; $\sigma d^2 = 32,8$), российский сорт Велес ($b_i = 1,42$; $\sigma d^2 = 25,7$), датский сорт Кроссвей ($b_i = 1,17$; $\sigma d^2 = 29,6$).

Важное адаптивное значение имеет высокая фенотипическая стабильность (фактор стабильности (SF)), приближенная к 1,0. К наиболее фенотипически стабильным отнесены все исследуемые сорта (SF = от 1,02 до 1,22).

Высоким уровнем гомеостатичности ($\text{Ном}_i > 14,5$) и низким размахом урожайности ($d, \% \leq 0,07$) из выделенного ассортимента сортов обладают сорта белорусской селекции Добрый, Магутны, Фэст, а также сорта Ленетах (США) и Дункан (Канада).

Коэффициент адаптивности (КА) свыше единицы, указывающий на способность устойчиво формировать относительно выбранного ассортимента сортов более высокий признак «масса 1000 зерен» в различных условиях вегетации, отмечен у 46,2 % исследованных сортов. Максимальные значения данного коэффициента ($\text{КА} \geq 1,05$), отмечены у сортов Калита (Россия), Добрый (Республика Беларусь), Алисия (Франция), Чилл (Германия), Стратус (Польша).

Повышенные показатели уровня стабильности и пластичности сорта (ПУСС, %) относительно стандартного сорта Надежный выявлены у 42,3 % сортов. Высокую оценку

по данному показателю получили белорусские сорта Добрый и Магутны (ПУСС, > 200 %).

Лучшими по показателю генетической гибкости ($(Y_{\min} + Y_{\max})/2 > 50,0$) являются 76,9 % исследуемого набора сортов. Наиболее высокие показатели отмечены у сортов Калита (Россия), Добрый (Республика Беларусь), Алисия (Франция), Чилл (Германия), Стратус (Польша).

По способности формировать стабильную продуктивность в неординарных условиях среды, имея самые низкие показатели (-2,4...-2,9) могут сорта белорусской селекции Добрый и Магутны, на что указывает показатель стрессоустойчивости сорта ($Y_{\min} - Y_{\max}$).

Одним из факторов для констатации степени адаптивности генотипа является коэффициент отзывчивости на условия окружающей среды (K_p), согласно которому все сорта хорошо реагируют на улучшение условий возделывания ($K_p > 1,0$). Наибольшие значения ($K_p \geq 1,20$) имеют сорта Велес (Россия), Гонар (Республика Беларусь), КВС Вермонт (Германия), Чилл (Германия), Лауреат (Швейцария), Квенч (Швейцария), Стратус (Польша).

Наиболее полную информацию параметров адаптивности по полученным показателям позволит установить сумма рангов каждого сорта (1-й ранг наиболее высокий). Учитывая комплекс из 12 параметров ($Y_i, C_v, b_i, \sigma d^2, SF, \text{КА}, \text{Ном}_i, \text{ПУСС}_i, d, Y_{\min} + Y_{\max}/2, Y_{\min} - Y_{\max}, K_p$), выделились сорта белорусской селекции Добрый, Магутны и Ленетах (США), занявшие соответственно первое, второе и третье место в рейтинговой шкале.

Выводы. Сравнительное изучение коллекционного материала ярового ячменя различного эколого-географического происхождения в условиях Рязанской области позволило выделить наиболее крупнозерные, экологически пластичные, адаптивные и стабильные сорта по признаку «масса 1000 зерен». На основе интегрируемой оценки генотипов по комплексным показателям адаптивности признака «масса 1000 зерен» ($Y_i, C_v, b_i, \sigma d^2, SF, \text{КА}, \text{Ном}_i, \text{ПУСС}_i, d, Y_{\min} + Y_{\max}/2, Y_{\min} - Y_{\max}, K_p$), выделены белорусские сорта Добрый, Магутны и сорт Ленетах (США) со средними показателями данного признака 53,2–54,8 г.

Библиографические ссылки

1. Гончаренко, А. А. Об адаптивности и экологической устойчивости сортов зерновых культур // Вестник РАСХН. 2005. № 6. С. 49–53.
2. Доспехов, Б. А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований). Изд. 5-е., перераб. и доп. М.: Альянс, 2014. 351 с.
3. Животков Л. А., Морозова З. А., Секатуева Л. И. Методика выявления потенциальной продуктивности и адаптивности сортов и селекционных форм озимой пшеницы по показателю «урожайность» // Селекция и семеноводство. 1994. № 2. С. 3–7.
4. Зыкин В. А., Белан И. А., Юсов В. С., Корнева С. П. Методика экологической пластичности сельскохозяйственных растений. Омск, 2008. 35 с.
5. Левакова О. В., Гладышева О. В., Ерошенко Л. М. Адаптированный к условиям Центрального региона новый сорт ячменя ярового Рафаэль // Зерновое хозяйство России. 2023. № 1. С. 42–49. DOI: 10.31367/2079-8725-2023-84-1-42-49
6. Левакова, О. В. Вариабельность элементов структуры урожая ярового ячменя в зависимости от гидротермических условий вегетации // Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2022. Т. 23, № 3. С. 327–333. DOI:10.30766/2072-9081.2022.23.3.327-333

7. Морозов Н.А., Самсонов И.В., Панкратова Н.А. Оценка адаптивности ярового ячменя по признаку «масса 1000 зерен» к засушливым условиям Ставропольского края // Зерновое хозяйство России. 2022. № 4. С. 16–21. DOI: 10.31367/2079-8725-2022-82-4-16-21
8. Неттевич Э.Д., Моргунов А.И., Максименко М.И. Повышение эффективности отбора яровой пшеницы на стабильность урожайности и качества зерна // Вестник сельскохозяйственной науки. 1985. № 1. С. 66–73.
9. Пакудин В.З., Лопатина Л.М. Оценка экологической пластичности и стабильности сельскохозяйственных культур // Сельскохозяйственная биология. 1984. № 19(4). С. 109–113.
10. Полонский В.И., Герасимов С.А., Сумина А.В. Пластичность и стабильность образцов пленчатого ячменя по содержанию β -глюканов в зерне и его крупности в условиях Красноярской лесостепи // Вестник КрасГАУ. 2022. № 4. С. 53–61. DOI: 10.36718/1819-4036-2022-4-53-61
11. Хангильдин В.В., Асфондиярова Р.Р. Проявление гомеостаза у гибридов гороха посевного // Биологические науки. 1977. № 1. С. 116–121.
12. Шоева О.Ю., Глаголева А.Ю., Кукоева Т.В. Влияние локуса *Blp1*, контролирующего синтез меланина в колосе ячменя, на размер и вес зерна // Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции. 2021. № 182(2). С. 89–95. DOI: 10.30901/2227-8834-2021-2-89-95
13. Dontsova A.A., Alabushev A.V., Lebedeva M.V., Potokina E.K. Analysis of polymorphism of microsatellite markers linked to a long-term net form of net blotch resistance gene in winter barley varieties in the south of Russia // Indian Journal of Genetics and Plant Breeding. 2018. Vol. 78(3), P. 317–323. DOI: 10.31742/IJGPB.78.3.4
14. Lewis, D. Gene-environment interaction: A relationship between dominance, heterosis, phenotypic stability and variability // Heredity. 1954. № 8. P. 333–356.
15. Sanina, N.V. The productivity and spring barley grain quality depending on mineral fertilizer systems // BIO of Coferences. 2020. Vol. 27, Article number: 00049. DOI: 10.1051/bioconf/20202700049

References

1. Goncharenko, A.A. Ob adaptivnosti i ekologicheskoi ustoichivosti sortov zernovykh kul'tur [On adaptability and environmental sustainability of grain crop varieties] // Vestnik RASKhN. 2005. № 6. S. 49–53.
2. Dospekhov, B.A. Metodika polevogo opyta (s osnovami statisticheskoi obrabotki rezul'tatov issledovaniy) [Methodology of a field trial (with the basics of statistical processing of the study results)]. Izd. 5-e., pererab. i dop. M.: Al'yans, 2014. 351 s.
3. Zhivotkov L.A., Morozova Z.A., Sekatueva L.I. Metodika vyyavleniya potentsial'noi produktivnosti i adaptivnosti sortov i selektsionnykh form ozimoi pshenitsy po pokazatelyu «urozhainost'» [Methodology for identifying the potential productivity and adaptability of winter wheat varieties and breeding forms according to the indicator 'yield'] // Seleksiya i semenovodstvo. 1994. № 2. S. 3–7.
4. Zykin V.A., Belan I.A., Yusov V.S., Korneva S.P. Metodika ekologicheskoi plastichnosti sel'skokhozyaistvennykh rasteniy [Methodology for ecological adaptability of agricultural plants]. Omsk, 2008. 35 s.
5. Levakova O.V., Gladysheva O.V., Eroshenko L.M. Adaptirovannyi k usloviyam Tsentral'nogo regiona novyi sort yachmenya yarovogo Rafael' [A new spring barley variety 'Rafael' adapted to the conditions of the Central region] // Zernovoe khozyaistvo Rossii. 2023. № 1. S. 42–49. DOI: 10.31367/2079-8725-2023-84-1-42-49
6. Levakova, O.V. Variabel'nost' elementov struktury urozhaya yarovogo yachmenya v zavisimosti ot gidrotermicheskikh uslovii vegetatsii [Variability of spring barley yield structure elements depending on hydrothermal conditions of a vegetation period] // Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka. 2022. T. 23, № 3. S. 327–333. DOI: 10.30766/2072-9081.2022.23.3.327-333
7. Morozov N.A., Samsonov I.V., Pankratova N.A. Otsenka adaptivnosti yarovogo yachmenya po priznaku «massa 1000 zeren» k zasushlivym usloviyam Stavropol'skogo kraia [Estimation of spring barley adaptability based on the trait '1000-grain weight' to the arid conditions of the Stavropol Territory] // Zernovoe khozyaistvo Rossii. 2022. № 4. S. 16–21. DOI: 10.31367/2079-8725-2022-82-4-16-21
8. Nettevich E.D., Morgunov A.I., Maksimenko M.I. Povyshenie effektivnosti otbora yarovoi pshenitsy na stabil'nost' urozhainosti i kachestva zerna [Increasing the efficiency of spring wheat selection for stability of productivity and grain quality] // Vestnik sel'skokhozyaistvennoi nauki. 1985. № 1. S. 66–73.
9. Pakudin V.Z., Lopatina L.M. Otsenka ekologicheskoi plastichnosti i stabil'nosti sel'skokhozyaistvennykh kul'tur [Estimation of ecological adaptability and stability of agricultural crops] // Sel'skokhozyaistvennaya biologiya. 1984. № 19(4). S. 109–113.
10. Polonskii V.I., Gerasimov S.A., Sumina A.V. Plastichnost' i stabil'nost' obraztsov plenchatogo yachmenya po soderzhaniyu β -glyukanov v zerne i ego krupnosti v usloviyakh Krasnoyarskoi lesostepi [Adaptability and stability of hulled barley samples in terms of the content of β -glucans in the grain and its size under the conditions of the Krasnoyarsk forest-steppe] // Vestnik KrasGAU. 2022. № 4. S. 53–61. DOI: 10.36718/1819-4036-2022-4-53-61
11. Khangil'din V. V., Asfondiyarova R.R. Proyavlenie gomeostaza u gibridov gorokha posevnogo [Manifestation of homeostasis in pea hybrids] // Biologicheskie nauki. 1977. № 1. S. 116–121.
12. Shoeva O. Yu., Glagoleva A. Yu., Kukoeva T.V. Vliyanie lokusa *Blp1*, kontroliruyushchego sintez melanina v kolose yachmenya, na razmer i ves zerna [Effect of the *Blp1* locus, which controls melanin synthesis in the barley head, on grain size and weight] // Trudy po prikladnoi botanike, genetike i seleksii. 2021. № 182(2). S. 89–95. DOI: 10.30901/2227-8834-2021-2-89-95
13. Dontsova A.A., Alabushev A.V., Lebedeva M.V., Potokina E.K. Analysis of polymorphism of microsatellite markers linked to a long-term net form of net blotch resistance gene in winter barley varieties in the south of Russia // Indian Journal of Genetics and Plant Breeding. 2018. Vol. 78(3), P. 317–323. DOI: 10.31742/IJGPB.78.3.4

14. Lewis, D. Gene-environment interaction: A relationship between dominance, heterosis, phenotypic stability and variability // *Heredity*. 1954. № 8. P. 333–356.

15. Sanina, N.V. The productivity and spring barley grain quality depending on mineral fertilizer systems // *BIO of Coferences*. 2020. Vol. 27, Article number: 00049. DOI: 10.1051/bioconf/20202700049

Поступила: 19.01.24; доработана после рецензирования: 29.01.24; принята к публикации: 29.01.24.

Критерии авторства. Автор статьи подтверждает, что имеет на статью полное право и несет ответственность за плагиат.

Конфликт интересов. Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

Авторский вклад. Левакова О. В. – концептуализация исследования, подготовка опыта, выполнение полевых / лабораторных опытов и сбор данных, анализ данных и их интерпретация, подготовка рукописи.

Автор прочитал и одобрил окончательный вариант рукописи.