УДК 633.16:581.1.045 **DOI: 10.31367/2079-8725-2025-96-1-61-66**

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТОЛЕРАНТНОСТИ ОБРАЗЦОВ ЯРОВОГО ЯЧМЕНЯ НА РАННЕМ ЭТАПЕ РАЗВИТИЯ РАСТЕНИЙ К ХОЛОДОУСТОЙЧИВОСТИ

В. Л. Газе, младший научный сотрудник лаборатории клеточной селекции, l.fiziologii@yandex.ru, ORCID ID: 0000-0002-4618-6125;
И. А. Лобунская, младший научный сотрудник лаборатории клеточной селекции, lobunskaya95@mail.ru, ORCID ID: 0000-0003-1537-8498;
Е. Ю. Черпакова, агроном лаборатории клеточной селекции, elena123089@mail.ru, ORCID ID: 0000-0002-6268-7915;
Н. В. Яновская, агроном лаборатории клеточной селекции, ORCID ID: 0000-0001-6198-6270;
А. А. Донцова, кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник отдела селекции и семеноводства ячменя, doncova601@mail.ru, ORCID ID: 0000-0002-6570-4303
ФГБНУ «Аграрный научный центр «Донской»,
347740, Ростовская обл., г. Зерноград, ул. Научный городок, д. 3; e-mail: vniizk30@mail.ru

Изменение климата усиливает общее воздействие абиотических стрессовых условий на растения (засуха, засоление, низкие и высокие температуры), ограничивающее рост и продуктивность сельскохозяйственных культур во всем мире. С глобальным изменением климата риск повреждения ярового ячменя холодом увеличился. Для яровых зерновых культур появление всходов – это один из критических периодов вегетации. В статье приведены исследования по определению всхожести образцов ярового ячменя к низким положительным температурам за период 2023–2024 годов. Лабораторную оценку холодоустойчивости проводили по методике, предложенной П.А. Власюк и др., на 47 образцах ярового ячменя конкурсного сортоиспытания селекции ФГБНУ «АНЦ «Донской». Цель нашей работы заключалась в испытании метода, определяющего устойчивость образцов ярового ячменя к низким положительным температурам и выделение холодоустойчивых образцов. Проведена оценка холодоустойчивости образцов ячменя по способности семян прорастать в зависимости от воздействия температурного стресса (10, 8, 6, 4 и 2 °С). По результатам статистического анализа была выявлена наилучшая дифференциация значений устойчивости при температуре 4 °С и проведены дальнейшие исследования. Все изучаемые образцы относились к высоко и средне холодоустойчивым. В ходе проведенной последующей оценки образцов урожая 2024 г. были зафиксированы образцы ярового ячменя, характеризующиеся высокой устойчивостью к низкотемпературному воздействию: Зерноградский 1895 (98,9 %), Зерноградский 1875 (96,7 %), Зерноградский 1905 (94,7 %), Зерноградский 1867 (93,5 %), Зерноградский 1898 (92,7 %), Зерноградский 1763, Зерноградский 1892 и Зерноградский 1908 (по 92,6 %).

Ключевые слова: *яровой ячмень, сорт, проростки, холодоустойчивость, температурный стресс.*
Для цитирования: *Газе В. Л., Лобунская И. А., Черпакова Е. Ю., Яновская Н. В., Донцова А. А. Определение толерантности образцов ярового ячменя на раннем этапе развития растений к холодоустойчивости // Зерновое хозяйство России. 2025. Т. 17, № 1. С. 61–66. DOI: 10.31367/2079-8725-2025-96-1-61-66.*

(cc) BY

ESTIMATION OF COLD RESISTANCE OF SPRING BARLEY SAMPLES AT AN EARLY STAGE OF PLANT DEVELOPMENT

V. L. Gaze, junior researcher of the laboratory for cell breeding, l.fiziologii@yandex.ru, ORCID ID: 0000-0002-4618-6125;
I. A. Lobunskaya, junior researcher of the laboratory for cell breeding, lobunskaya95@mail.ru, ORCID ID: 0000-0003-1537-8498;
E. Yu. Cherpakova, agronomist of the laboratory for cell breeding, elena123089@mail.ru, ORCID ID: 0000-0002-6268-7915;
N. V. Yanovskaya, agronomist of the laboratory for cell breeding, ORCID ID: 0000-0001-6198-6270;
A. A. Dontsova, Candidate of Agricultural Sciences, leading researcher of the department of barley breeding and seed production, doncova601@mail.ru, ORCID ID: 0000-0002-6570-4303
FSBSI Agricultural Research Center "Donskoy",
347740, Rostov region, Zernograd, Nauchny Gorodok Str., 3; e-mail: vniizk30@mail.ru

Climate changes are increasing the overall impact of abiotic stress conditions on plants (drought, salinity, low and high temperatures), which limit the growth and productivity of agricultural crops worldwide. Global climate changes increase the risk of cold damage to spring barley. For spring grain crops, seedling emergence is one of the critical periods of vegetation. The current paper has presented the study on evaluating seedling of spring barley samples at low positive temperatures in 2023–2024. Laboratory estimation of cold resistance was carried out on 47 spring barley samples from the Competitive Variety Testing developed in the FSBSI "ARC "Donskoy" by the method proposed by P.A. Vlasyuk et al. The purpose of the current work was to test the method determining the resistance of spring barley samples to low positive temperatures and to select cold-resistant samples. The cold resistance of barley samples was estimated by the ability of seeds to germinate depending on the impact of temperature stress (+10, +8, +6, +4 and +2 °C). Based on statistical analysis, the best differentiation of resistance values was identified at a temperature of 4 °C. All the studied samples were classified as highly and moderately cold-resistant. During the subsequent evaluation of the 2024 harvest samples, there have been identified such highly resistant to low-temperature spring barley samples as 'Zernogradsky 1895' (98.9 %), 'Zernogradsky 1875' (96.7 %), 'Zernogradsky 1905' (94.7 %),

'Zernogradsky 1867' (93.5 %), 'Zernogradsky 1898' (92.7 %), 'Zernogradsky 1763', 'Zernogradsky 1892' and 'Zernogradsky 1908' (92.6 % each).

Keywords: *spring barley, variety, sprouts, cold resistance, temperature stress.*

Введение. Холод является одним из наиболее значимых абиотических стрессов, ограничивающих рост и продуктивность сельскохозяйственных культур во всем мире (Зубаирова и др., 2018). Урожайность зерновых культур в условиях южной зоны Ростовской области ограничивается периодами воздействия неблагоприятных метеорологических факторов, в частности, высоких и низких температур по фазам роста и развития растений (Филиппов и др., 2022).

Для весны свойственна резкая смена погоды с временным возвратом холодов. Эти явления продолжаются вплоть до второй половины мая (Юсова и др., 2020).

Одним из факторов, влияющих на урожайность, является полевая всхожесть. Полевая всхожесть у зерновых культур значительно ниже лабораторной и составляет 65–85 %. На полевую всхожесть влияют экологические условия: температура почвы на глубине посева семян, температура воздуха, влажность почвы, наличие почвенных вредителей, почвенной корки (Ma et al., 2024).

Ячмень – одна из яровых культур, обладающая высокой устойчивостью к абиотическим стрессам (высокие и низкие температуры). Посев семян в оптимальные сроки, благоприятная для ярового ячменя температура почвы и воздуха являются залогом получения дружных всходов. Но в этот период не всегда складываются оптимальные погодные условия. Резкое понижение температуры поздней весной во время развития проростков является основным фактором, влияющим на производство ярового ячменя, поскольку оно может привести к гибели, плохому укоренению, снижению полевой всхожести и последующему снижению урожайности до 30–50 % (Колупаев и др., 2019).

Для уменьшения ущерба, наносимого низкими положительными температурами, необходимо создавать холодоустойчивые сорта ярового ячменя.

Многие абиотические факторы среды, к которым растение эволюционно не приспособлено, могут оказывать стрессовое воздействие на организм (Карманенко, 2014). При этом растения испытывают явные нарушения физиологических функций. Холодный стресс приводит к широкому спектру реакций у растений, включая физиобиохимические реакции, которые происходят вместе с колебаниями экспрессии генов. Эти изменения делают растения более устойчивыми к холодным условиям (Muñoz-Amatriaín et al., 2020).

Лабораторный метод определения холодоустойчивости образцов ярового ячменя на раннем этапе развития растений даст первичную оценку и позволит объективно характеризовать относительную устойчивость и в определенной мере судить и об адаптационных возможностях взрослых растений, что говорит об актуальности проводимых исследований.

Из всего изложенного следует, что выбранное направление является актуальным и перспективным для практической селекции.

Цель наших исследований – испытание метода, определяющего устойчивость образцов ярового ячменя к низким положительным температурами, и выделение холодоустойчивых образцов.

Материалы и методы исследований. Исходным материалом для проведения исследований служили 47 образцов ярового ячменя конкурсного сортоиспытания селекции ФГБНУ «АНЦ «Донской» урожая 2023–2024 годов. Определение устойчивости образцов к действию низких положительных температур проводили по методике, предложенной П.А. Власюк и Е. К. Белецкой (1974). Всхожесть определяли путем проращивания семян в чашках Петри на фильтровальной бумаге в термостате, опыт при температурах: 10, 8, 6, 4 и 2 °С в 4-кратной повторности, а контроль при температуре 20 °С в 2-кратной повторности. Подсчет всхожести семян в опыте проводили на 15-й день, а в контроле – на 7-й день. Критерием устойчивости служит количество проросших семян (с длиной главного корешка и ростка не менее длины семени) после воздействия низких температур в сравнении с контролем.

По устойчивости к низким положительным температурам образцы ярового ячменя распределяли на следующие группы:

I – высокоустойчивые (81–100 %);
II – устойчивость выше средней (61–80 %);
III – среднеустойчивые (41–60 %);
IV – слабоустойчивые (21–40 %);
V – неустойчивые (0–20 %).

Математическую обработку данных производили с использованием программ Microsoft Excel и Statistica 10.

Результаты и их обсуждение. Отработку метода отзывчивости по степени прорастания семян при воздействии низких положительных температур и выявления их наилучшей дифференциации проводили на 28 образцах ярового ячменя урожая 2023 года.

Проведен двухфакторный дисперсионный анализ для установления наличий статистически значимых различий в опыте по показателю «прорастание семян» при низких положительных температурах (табл. 1).

В существенной мере температурный режим (фактор В) сказывался на прорастании семян, так как сила влияния составила 97,5 %, а взаимодействие факторов (АВ) и сорта (А) – 1,10 и 0,42 % соответственно.

Таблица 1. Результаты статистического анализа по показателю «прорастание семян» при низких положительных температурах (2023 г.)
Table 1. Results of statistical analysis according to the trait 'seed sprouting' at low positive temperatures (2023)

Дисперсия	Степени свободы (v)	Сумма квадратов (SS)	Средний квадрат (S^2)	Критерий $F_{факт.}$	$НСР_{05}$	Доля влияния ($П_x^2$) (%)
Общая	279	566771,63	2031,44	–	–	–
Повторений	1	0,03	0,03	–	–	–
Сорт (фактор А)	27	2376,10	88,00	427,76	0,25	0,42
Температурный режим (фактор В)	4	558127,31	139531,83	678228,93	0,10	97,5
Взаимодействия АВ	108	6239,59	57,77	280,82	0,10	1,10
Остаток (ошибка)	139	28,60	0,21	–	–	0,005

Экспериментальные данные по всхожести семян ярового ячменя при низких положительных температурах с интервалом снижения на 2 °С от 10 до 2 °С не показали достоверных различий по устойчивости к температурным режимам – 10, 8 и 6 °С. Значения холодоустойчивости образцов при этих температурах воздействия варьировали от 89,9 до 100,0 % и составляли I группу – высоко холодоустойчивые (табл. 2).

Таблица 2. Холодоустойчивость ярового ячменя (урожай 2023 г.)
Table 2. Cold resistance of spring barley (2023)

№ п/п	Образец	Холодоустойчивость, %									
		t = 10 °C	Группа устойчивости	t = 8 °C	Группа устойчивости	t = 6 °C	Группа устойчивости	t = 4 °C	Группа устойчивости	t = 2 °C	Группа устойчивости
1	Формат, st	100,0	I	100,0	I	100,0	I	18,8	V	0,0	V
2	Азимут	100,0	I	98,0	I	96,9	I	40,8	IV	10,2	V
3	Зерноградский 1726	100,0	I	99,0	I	98,0	I	28,3	IV	15,2	V
4	Зерноградский 1755	98,0	I	90,8	I	89,8	I	14,3	V	2,0	V
5	Зерноградский 1801	100,0	I	97,9	I	97,9	I	8,2	V	0,0	V
6	Зерноградский 1866	100,0	I	99,0	I	96,9	I	24,7	IV	1,0	V
7	Зерноградский 1867	100,0	I	98,9	I	97,9	I	6,3	V	0,0	V
8	Зерноградский 1879	100,0	I	99,0	I	91,8	I	2,1	V	1,0	V
9	Зерноградский 1880	100,0	I	100,0	I	98,0	I	9,1	V	4,0	V
10	Зерноградский 1896	98,0	I	96,9	I	95,9	I	9,2	V	0,0	V
11	Зерноградский 1636хГрис	100,0	I	99,0	I	99,0	I	6,3	V	0,0	V
12	Зерноградский 1636 х1645	100,0	I	99,0	I	96,0	I	31,3	IV	0,0	V
13	Зерноградский 1524хГрис	100,0	I	100,0	I	90,9	I	5,1	V	0,0	V
14	Зерноградский 1875	100,0	I	99,0	I	99,0	I	5,2	V	1,0	V
15	Зерноградский 1873	100,0	I	100,0	I	98,0	I	34,7	IV	0,0	V
16	Зерноградский 1825	99,0	I	99,0	I	99,0	I	9,4	V	0,0	V
17	Зерноградский 1855	100,0	I	100,0	I	96,9	I	7,2	V	1,0	V
18	Зерноградский 1863	100,0	I	97,9	I	94,8	I	13,4	V	0,0	V
19	Зерноградский 1861	99,0	I	96,9	I	95,8	I	11,5	V	2,1	V
20	Зерноградский 1883	100,0	I	96,8	I	95,7	I	13,8	V	3,2	V
21	Леон × Юла	100,0	I	100,0	I	97,9	I	37,1	IV	0,0	V
22	Зерноградский 1892	96,9	I	96,9	I	95,9	I	1,0	V	1,0	V
23	Зерноградский 1893	100,0	I	96,9	I	93,9	I	2,0	V	1,0	V
24	Зерноградский 1895	100,0	I	100,0	I	97,0	I	5,1	V	1,0	V
25	Щедрый х Командир	100,0	I	100,0	I	99,0	I	10,4	V	2,1	V
26	Зерноградский 1636 х 1648	100,0	I	100,0	I	99,0	I	2,1	V	0,0	V
27	Зерноградский 1636 х 1648	100,0	I	99,0	I	98,0	I	1,0	V	0,0	V
28	Зерноградский 1636 х Грис	100,0	I	97,9	I	96,9	I	1,0	V	0,0	V
	Среднее	99,7	–	98,5		96,6	–	12,8	–	1,6	–
	$НСР_{05}$	2,5	–	3,3		1,8	–	0,6	–	0,3	–

При температуре 4 °С всхожесть семян имела достоверное различие. Разность значений холодоустойчивости между образцами была более значительная и варьировала от 40,8 (Азимут) до 1,0 % (Зерноградский 1892, Зерноградский 1636 × Зерноградский 1648 и Зерноградский 1636 × Грис). При распределении на группы устойчивости образцы относи-

лись к слабо устойчивым и нехолодостойким. Так, при температуре 2 °С у большинства образцов зафиксированы низкие или на уровне нуля показатели всхожести.

Наибольший разброс признака прорастания семян среди изученных низких положительных температур отмечен при 4 °С. Статистический анализ выявил, что при этих условиях изменчивость признака имеет высокие значения амплитуды вариации (R = 39,80 %) и стандартного отклонения (σ = 11,77 %) (табл. 3).

Таблица 3. Статистические показатели изменчивости признака «прорастание семян ярового ячменя» по холодоустойчивости (2023 г.)
Table 3. Statistical indicators of variability of the trait 'spring barley seed sprouting' according to cold resistance (2023)

Статистические показатели		Температура, °С				
		10	8	6	4	2
Среднее по опыту	Среднее значение признака ($\bar{x}$)	99,68	98,49	96,64	12,84	1,64
	Размах вариации (R)	3,10	9,20	10,20	39,80	15,20
	Стандартное отклонение (σ)	0,79	1,89	2,50	11,77	3,37
	Коэффициент вариации	0,8	1,9	2,6	91,7	205,9
	Стандартная ошибка	0,1	0,4	0,5	2,2	0,6

Последующие исследования по относительной холодоустойчивости были проведены при низкой положительной температуре 4 °С на 47 образцах (урожая 2024 года), в результате которого выделены устойчивые формы.

По показателям холодоустойчивости в среднем за период исследований образцы были разделены на группы устойчивости. К высоко холодоустойчивым относятся 46 образцов (97,9 %) и один образец с устойчивостью выше средней (2,1 %) (рис. 1).

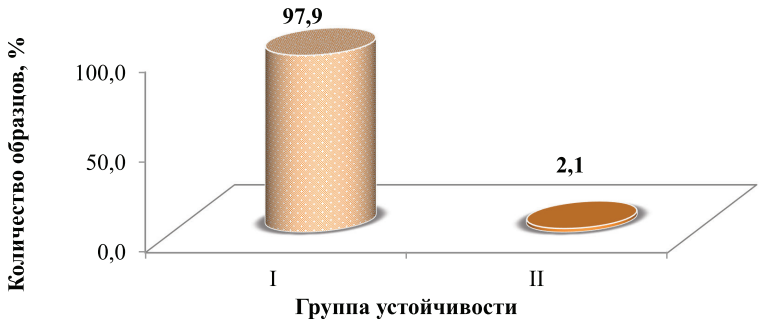

Рис. 1. Распределение образцов ярового ячменя по группам холодоустойчивости (2024 г.)
Fig. 1. Distribution of spring barley samples in cold resistance groups (2024)

По величине холодоустойчивости достоверное превышение значений над стандартом Формат (87,9 %) отмечено у образца Зерноградский 1895 (98,9 %), все остальные изучаемые образцы были на уровне стандарта ($НСР_{05}$ = ±9,4 %). Максимальные значения холодоустойчивости отмечены у образцов Зерноградский 1895 (98,9 %), Зерноградский 1875 (96,7 %), Зерноградский 1905 (94,7 %), Зерноградский 1867 (93,5 %), Зерноградский 1898 (92,7 %), Зерноградский 1763, Зерноградский 1892 и Зерноградский 1908 (по 92,6 %) (рис. 2).

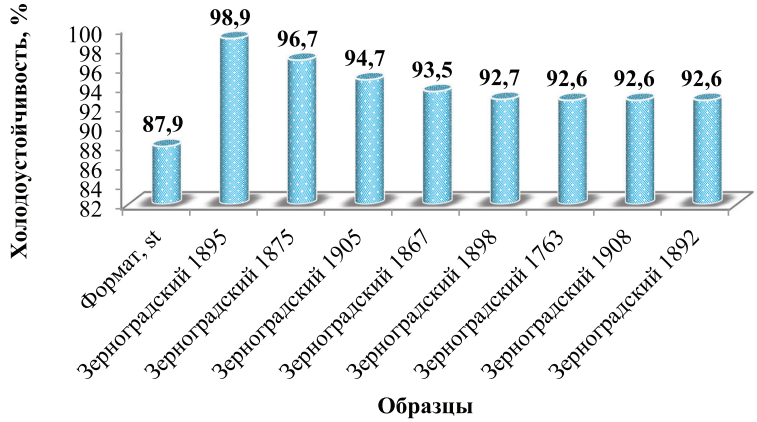

Рис. 2. Выделившиеся образцы ярового ячменя по холодоустойчивости (2024 г.)
Fig. 2. Spring barley samples with high cold resistance (mean in 2023–2024)

Выделенные образцы обладают способностью эффективно справляться с замедлением метаболических процессов и поддержания целостности клеточных мембран, предотвращая образование кристаллов льда при понижении температуры внутри клеток, обусловленные генетическими факторами. Это является одним из главных факторов повреждения растений при низких температурах.

Выводы. Проведенные статистические исследования способности прорастания семян ярового ячменя при низких положительных температурах позволили установить, что наиболее высокие значения амплитуды вариации (R = 39,80 %) и стандартного отклонения (σ = 11,77 %) зафиксированы при температуре 4 °С по сравнению с вариантами 10, 8, 6 и 2 °С.

Скрининг образцов ярового ячменя по холодоустойчивости позволил выделить образцы Зерноградский 1895 (98,9 %), Зерноградский 1875 (96,7 %), Зерноградский 1905 (94,7 %), Зерноградский 1867 (93,5 %), Зерноградский 1898 (92,7 %), Зерноградский 1763, Зерноградский 1892 и Зерноградский 1908 (по 92,6 %), характеризующиеся высокой устойчивостью к низким положительным температурам.

Финансирование. Государственное задание № 0505-2022-0005 – ФГБНУ «Аграрный научный центр «Донской».

Библиографический список

1. Зубаирова У. С., Дорошков А. В. Паттерн эпидермиса листа пшеницы как модель для изучения влияния стрессовых условий на морфогенез // Вавиловский журнал генетики и селекции. 2018. № 22(7). С. 837–844. DOI: 10.18699/VJ18.32-o

2. Карманенко Н. М. Сортовая реакция зерновых культур на низкие температуры, условия закисления и ионы алюминия // Сельскохозяйственная биология. 2014. Т. 49, № 5. С. 66–77.

3. Колупаев Ю. Е., Горелова Е. И., Ястреб Т. О., Рябчун Н. И., Кириченко В. В. Стресс-протекторные реакции проростков пшеницы и ржи при индуцировании устойчивости к низким температурам донором сероводорода // Физиология растений. 2019. Т. 66, № 4. С. 277–285.

4. Филиппов Е. Г., Донцова А. А., Донцов Д. П., Дорошенко Э. С., Засыпкина И. М., Брагин Р. Н. Оценка исходного материала ярового ячменя в условиях Ростовской области // Зерновое хозяйство России. 2022. № 1. С. 3–10. DOI: 10.31367/2079-8725-2022-79-1-3-10

5. Юсова О. А., Николаев П. Н., Бендина Я. Б., Сафонова И. В., Аниськов Н. И. Стрессоустойчивость сортов ячменя различного агроэкологического происхождения для условий резко континентального климата // Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции. 2020. Т. 181, № 4. С. 44–45.

6. Ma S., Huang X., Zhao X., Liu L., Zhang L., Gan B. Current status for utilization of cold resistance genes and strategies in wheat breeding program // Frontiers in Genetics. 2024. Vol. 15, Article number: 1473717. DOI: 10.3389/fgene.2024.1473717

7. Muñoz-Amatriaín M., Hernandez J., Herb D., Baenziger P. S., Bochard A. M., Capettini F., ... & Hayes P. Perspectives on low temperature tolerance and vernalization sensitivity in barley: prospects for facultative growth habit // Frontiers in Plant Science. 2020. Vol. 11, Article number: 585927.

References

1. Zubairova U. S., Doroshkov A. V. Pattern epidermisa lista pshenitsy kak model' dlya izucheniya vliyaniya stressovykh uslovii na morfogenez [Wheat leaf epidermis pattern as a model for studying the effect of stress conditions on morphogenesis] // Vavilovskii zhurnal genetiki i selektsii. 2018. № 22(7). S. 837–844. DOI: 10.18699/VJ18.32-o

2. Karmanenko N. M. Sortovaya reaktsiya zernovykh kul'tur na nizkie temperatury, usloviya zakisleniya i iony alyuminiya [Varietal response of grain crops to low temperatures, acidification and aluminum ions] // Sel'skokhozyaistvennaya biologiya. 2014. T. 49, № 5. S. 66–77.

3. Kolupaev Yu. E., Gorelova E. I., Yastreb T. O., Ryabchun N. I., Kirichenko V. V. Stress-protektornye reaktsii prorostkov pshenitsy i rzhi pri indutsirovanii ustoichivosti k nizkim temperaturam donorom serovodoroda [Stress-protective responses of wheat and rye seedlings when inducing resistance to low temperatures with a hydrogen sulfide donor] // Fiziologiya rastenii. 2019. T. 66, № 4. S. 277–285.

4. Filippov E. G., Dontsova A. A., Dontsov D. P., Doroshenko E. S., Zasypkina I. M., Bragin R. N. Otsenka iskhodnogo materiala yarovogo yachmenya v usloviyakh Rostovskoi oblasti [Estimation of the initial material of spring barley in the Rostov region] // Zernovoe khozyaistvo Rossii. 2022. № 1. S. 3–10. DOI: 10.31367/2079-8725-2022-79-1-3-10

5. Yusova O. A., Nikolaev P. N., Bendina Ya. B., Safonova I. V., Anis'kov N. I. Stressoustoichivost' sortov yachmenya razlichnogo agroekologicheskogo proiskhozhdeniya dlya uslovii rezkokontinental'nogo klimata [Stress resistance of barley varieties of different agroecological origin for a sharply continental climate] // Trudy po prikladnoi botanike, genetike i selektsii. 2020. T. 181, № 4. S. 44–45.

6. Ma S., Huang X., Zhao X., Liu L., Zhang L., Gan B. Current status for utilization of cold resistance genes and strategies in wheat breeding program // Frontiers in Genetics. 2024. Vol. 15, Article number: 1473717. DOI: 10.3389/fgene.2024.1473717

7. Muñoz-Amatriaín M., Hernandez J., Herb D., Baenziger P. S., Bochard A. M., Capettini F., ... & Hayes P. Perspectives on low temperature tolerance and vernalization sensitivity in barley: prospects for facultative growth habit // Frontiers in Plant Science. 2020. Vol. 11, Article number: 585927.

Поступила: 21.01.25; доработана после рецензирования: 30.01.25; принята к публикации: 30.01.25.

Критерии авторства. Авторы статьи подтверждают, что имеют на статью равные права и несут равную ответственность за плагиат.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Авторский вклад. Газе В. Л. – концептуализация исследования, проведение лабораторных опытов; Лобунская И. А. – сбор данных и подготовка рукописи; Черпакова Е. Ю., Яновская Н. В. – проведение лабораторных опытов; Донцова А. А. – анализ данных и их интерпретация.

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.