

## ОЦЕНКА ЗАСУХОУСТОЙЧИВОСТИ ОБРАЗЦОВ ЯРОВОГО ЯЧМЕНЯ В НАЧАЛЬНЫЙ ПЕРИОД РАЗВИТИЯ НА ОСМОТИЧЕСКОМ РАСТВОРЕ

**В. Л. Газе**, младший научный сотрудник лаборатории физиологии растений, l.fiziologii@yandex.ru, ORCID ID: 0000-0002-4618-6125;

**И. А. Лобунская**, агроном лаборатории физиологии растений, ORCID ID: 0000-0003-1537-8498;

**П. И. Костылев**, доктор сельскохозяйственных наук, профессор, главный научный сотрудник лаборатории селекции и семеноводства риса, ORCID ID: 0000-0002-4371-6848;

**Е. Г. Филиппов**, кандидат сельскохозяйственных наук, доцент, заведующий отделом селекции и семеноводства ячменя, filipov.vniizk@mail.ru, ORCID ID: 0000-0002-5916-3926  
ФГБНУ «Аграрный научный центр «Донской»,  
347740, Ростовская обл., г. Зерноград, ул. Научный городок, 3; e-mail: vniizk30@mail.ru

Создание засухоустойчивых сортов ярового ячменя – одно из важных направлений селекции на устойчивость к абиотическим стрессовым факторам. Для успешного решения этой задачи необходимо использовать в гибридизации сорта и линии, имеющие наиболее высокую устойчивость. Основная цель исследования – выявить влияние осмотического стресса разной концентрации на прорастание семян и оценить относительную засухоустойчивость сортов и линий ярового ячменя. Исследования были проведены в лаборатории физиологии растений в 2018–2020 годах. Оценку засухоустойчивости образцов ярового ячменя проводили на 26 сортах и линиях селекции ФГБНУ «АНЦ «Донской» в начальный период развития. Лабораторные исследования по способности семян ярового ячменя прорасти на растворе сахарозы (имитация недостатка влаги в почве) позволяют оценить засухоустойчивость образцов на ранних этапах развития растений. Изучалось действие раствора сахарозы с осмотическим давлением 3, 8, 10, 12, 14 атмосфер на способность прорастания семян. При увеличении концентрации раствора отмечено уменьшение всхожести семян у всех генотипов. В результате проведенных исследований при концентрации осмотического раствора сахарозы 8 атмосфер наблюдались наибольшие статистически значимые различия ( $P < 0,95$ ) образцов по сравнению с вариантами 3, 10, 12 и 14 атмосфер. В результате изучения получены данные относительной засухоустойчивости сортов и линий ярового ячменя. Максимальные показатели всхожести семян при осмотическом стрессе давлением 8 атмосфер в сравнении со стандартным сортом Ратник (43,6 %) зафиксированы у образцов: Зерноградский 1716 (91,1 %), Зерноградский 1717 (85,9 %), Зерноградский 1719 (84,1 %), 12545/18 (80,2 %), Зерноградский 1701 (78,9 %), 12551/18 (72,9 %), 12487/18 (72,4 %), Зерноградский 1724 (70,6 %), Зерноградский 1721 (69,8 %), 12525/18 (69,2 %). Выделившиеся образцы можно использовать для дальнейшего изучения засухоустойчивости в полевых условиях.

**Ключевые слова:** яровой ячмень, сорт, линия, относительная засухоустойчивость, осмотический раствор, атмосфера.

**Для цитирования:** Газе В. Л., Лобунская И. А., Костылев П. И., Филиппов Е. Г. Оценка засухоустойчивости образцов ярового ячменя в начальный период развития на растворе осмотиков // Зерновое хозяйство России. 2022. Т. 14, № 4. С. 34–38. DOI: 10.31367/2079-8725-2022-82-4-34-38.



## ESTIMATION OF DROUGHT TOLERANCE OF SPRING BARLEY SAMPLES IN THEIR INITIAL PERIOD OF DEVELOPMENT ON AN OSMOTIC SOLUTION

**V. L. Gaze**, junior researcher of the laboratory for plant physiology, l.fiziologii@yandex.ru, ORCID ID: 0000-0002-4618-6125;

**I. A. Lobunskaya**, agronomist of the laboratory for plant physiology, ORCID ID: 0000-0003-1537-8498;

**P. I. Kostylev**, Doctor of Agricultural Sciences, professor, main researcher of the laboratory for rice breeding and seed production, ORCID ID: 0000-0002-4371-6848;

**E. G. Filippov**, Candidate of Agricultural Sciences, docent, head of the department of barley breeding and seed production, filipov.vniizk@mail.ru, ORCID ID: 0000-0002-5916-3926  
FSBSI Agricultural Research Center “Donskoy”,  
347740, Rostov region, Zernograd, Nauchny Gorodok, 3; e-mail: vniizk30@mail.ru

Development of drought-tolerant spring barley varieties is one of the important breeding directions for resistance to abiotic stress factors. In order to solve this problem successfully, it is necessary to use in hybridization the varieties and lines with the highest tolerance. The main purpose of the current study was to estimate the effect of osmotic stress of different concentrations on seed germination and to evaluate the relative drought tolerance of spring barley varieties and lines. The study was carried out in the laboratory for plant physiology in 2018–2020. The estimation of drought tolerance of spring barley samples was carried out on 26 varieties and lines, bred in the ARC “Donskoy”, in the initial period of development. The laboratory experiments on the ability of spring barley seeds to germinate on a sucrose solution (imitation of a lack of moisture in the soil) make it possible to estimate drought tolerance of samples at the early stages of their development. There was studied an effect of a sucrose solution with an osmotic pressure of 3, 8, 10, 12, 14 atmospheres on the ability of seed germination. When increasing a concentration of the solution, there was a seed germination decrease in all genotypes. As a result of the study, there were the largest statistically significant differences ( $P > 0.95$ ) of the samples under the concentration of the osmotic sucrose solution of 8 atmospheres, in comparison with the options of 3, 10, 12 and 14 atmospheres. There have been obtained the data on the relative drought

tolerance of spring barley varieties and lines. The maximum indicators of seed germination under osmotic pressure of 8 atmospheres were registered among the samples 'Zernogradsky 1716' (91.1 %), 'Zernogradsky 1717' (85.9 %), 'Zernogradsky 1719' (84, 1%), '12545/18' (80.2 %), 'Zernogradsky 1701' (78.9 %), '12551/18' (72.9%), '12487/18' (72.4%), 'Zernogradsky 1724' (70.6 %), 'Zernogradsky 1721' (69.8 %), '12525/18' (69.2 %) in comparison with the standard variety 'Ratnik' (43.6 %). The identified samples can be used for further study of drought tolerance in the field.

**Keywords:** spring barley, variety, line, relative drought tolerance, osmotic solution, atmosphere.

**Введение.** В России площади под посев ярового ячменя, в основном, находятся в зонах с неравномерным распределением тепла и влаги, как по годам, так и в течение вегетационного периода. Главным источником почвенной влаги являются осадки, которые используются растениями для транспирации и формирования урожая (Донцова и др., 2016). Дефицит влаги в нашей климатической зоне в период вегетации зерновых – частое явление. В условиях засухи цветение растений ярового ячменя начинается перед выходом колоса из влагалища листа и заканчивается после колошения, что ведет к увеличению числа бесплодных колосков (Юсова и др., 2020).

Засухоустойчивость – это наследственная способность растений противостоять периодическому дефициту влаги без существенных последствий для роста, развития и снижения продуктивности (Macholdt J., 2017). Яровой ячмень считается засухоустойчивой, жаростойкой и скороспелой культурой, которая плохо переносит весеннюю засуху из-за слабо развитой первичной корневой системы (Кокина и др., 2018).

На сегодняшний день внедрение в производство засухоустойчивых сортов – это одно из главных средств в борьбе с засухой. Наступление продолжительной весенне-летней засухи в период активного роста является одной из основных причин снижения продуктивности для всех групп спелости зерновых, но скороспелые сорта в большей степени уязвимы, так как действие этой засухи застает их в период появления и вызревания колоса. В связи с этим селекция ярового ячменя должна быть направлена на поиск засухоустойчивых генотипов как источников исходного материала (Морозов и др., 2021).

Для сокращения селекционного процесса определение относительной засухоустойчивости проводят с помощью лабораторных физиологических методов оценки. Метод оценки относительной засухоустойчивости – это определение способности прорастания семян в условиях осмотического стресса с высоким давлением (имитации почвенной влаги). Это позволяет понять общий физиолого-биохимический процесс прорастания семени в стрессовых условиях и дает представление об устойчивости взрослого растения (Елисеев и др., 2016; Газе и др., 2018; Sallam et al., 2019). Образцы, семена которых способны прорасти в условиях почвенной засухи и на ранних этапах органогенеза формировать развитую первичную корневую систему, в дальнейшем можно использовать в качестве исходного материала с высокой засухоустойчивостью. Осмотические растворы должны быть такой концентрации, при кото-

рой различия в оценке устойчивости изучаемых сортов имеют наибольшее отклонение друг от друга и позволяют более точно представить относительную засухоустойчивость сортов (Marthandan et al., 2020).

Основная цель исследования – выявить влияние осмотического стресса разной концентрации на прорастание семян и оценить относительную засухоустойчивость сортов и линий ярового ячменя.

**Материалы и методы исследований.** Исследования проводили в 2018–2020 гг. в лаборатории физиологии растений, в ходе которых изучалось 26 сортов и линий ярового ячменя селекции Федерального государственного научного учреждения «Аграрный научный центр «Донской» (ФГБНУ «АНЦ «Донской»). Изучение засухоустойчивости сортов и линий проводили поэтапно: 1) оценка действия осмотического раствора разных концентраций; 2) определение всхожести образцов при концентрации раствора, дающей наилучшую дифференциацию по степени прорастания семян.

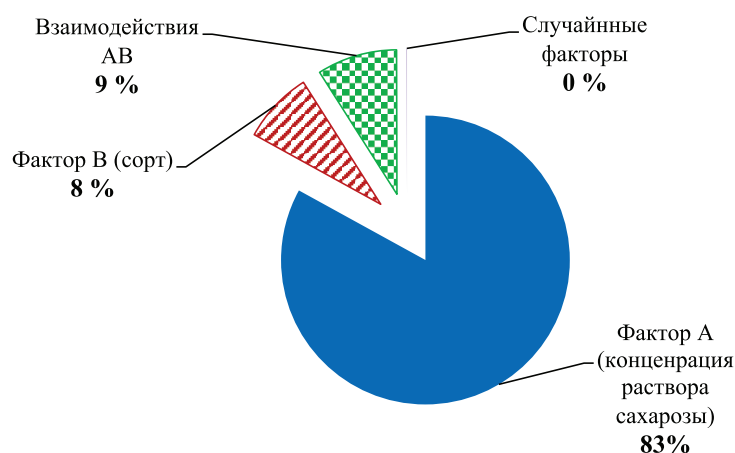
Для оценки относительной засухоустойчивости ярового ячменя применяли методику Н. Н. Кожушко (1988). В качестве осмотического раствора использовали сахарозу 3, 8, 10, 12 и 14 атмосфер.

Семенной материал проращивали в чашках Петри – по 50 семян каждого сорта между слоем фильтровальной бумаги в четырехкратной повторности. В опыте – раствор сахарозы (имитация почвенной засухи), а в контроле – дистиллированная вода.

Результаты фиксировали на седьмые сутки. Всхожесть определяли и выражали в процентах от среднего количества семян, давших корешок минимальной длины, в условиях недостатка влаги, в сравнении с числом проросших семян в дистиллированной воде. Семена образцов, способные развивать большую сочную силу, чем сочная сила внешнего раствора, характеризуются как устойчивые к стресс-фактору. Высокий процент проросших семян говорит об их способности прорасти в почве при недостатке влаги. Математическую и статистическую обработку данных проводили по методике Б. А. Доспехова (2014) и компьютерной программы Microsoft Excel.

**Результаты и их обсуждение.** При изучении засухоустойчивости 26 образцов ярового ячменя (прорастание семян на растворах осмотика 3, 8, 10, 12 и 14 атмосфер) определена зависимость всхожести семян от условий и сорта (рис. 1).

По результатам статистического анализа выявлены достоверные различия по степени всхожести семян (фактор А – концентрация раствора осмотика, фактор В – сорт).



**Рис. 1.** Доля влияния факторов А и В на относительную засухоустойчивость семян ярового ячменя (2018–2020 гг.)

**Fig. 1.** The share of the effect of A and B factors on the relative drought tolerance of spring barley seeds (2018–2020)

На количество проросших семян в большей мере оказывала влияние концентрация раствора сахарозы –  $\eta^2 = 0,84$ , чем фактор сорт  $\eta^2 = 0,08$  и их взаимодействие –  $\eta^2 = 0,09$ . При усилении стрессовой нагрузки (высокая концентрация осмотических растворов) наблюдалось резкое снижение всхожести семян ярового ячменя.

Первый этап изучения относительной засухоустойчивости образцов ярового ячменя проводили путем проращивания на растворах

осмотиков разной концентрации. Получены экспериментальные данные всхожести семян при разных условиях водного дефицита, показатели которых находились в пределах от 3,1 до 99,8 %.

Среди изучаемых сортов и линий средние значения всхожести семян за период изучения по всем концентрациям составили: 3 атм. – 89,6 %, 8 атм. – 59,2 %, 10 атм. – 34,1 %, 10 атм. – 17,7 %, 14 атм. – 11,8 % (табл. 1).

**Таблица 1. Статистические показатели изменчивости признака «проращение семян ярового ячменя» (2018–2020 гг.)**  
**Table 1. Statistical indicators of the variability of the trait 'germination of spring barley seeds' (2018–2020)**

Статистические показатели		Осмотический раствор (сахароза)				
		3 атм.	8 атм.	10 атм.	12 атм.	14 атм.
Среднее по опыту	Среднее значение признака ( $\bar{x}$ )	89,6	59,2	35,4	17,4	11,8
	Размах вариации (R)	28,7	76,5	60,2	41,1	24,9
	Стандартное отклонение ( $\sigma$ )	7,0	20,6	16,3	8,6	6,0

Наибольший разброс показателя всхожести семян среди изученных концентраций зафиксирован при концентрации осмотического раствора с давлением 8 атм. По статистическим показателям изменчивости признака при этих условиях зафиксированы наиболее широкая амплитуда вариации ( $R = 76,5$  %) и стандартное отклонение ( $\sigma = 20,6$  %).

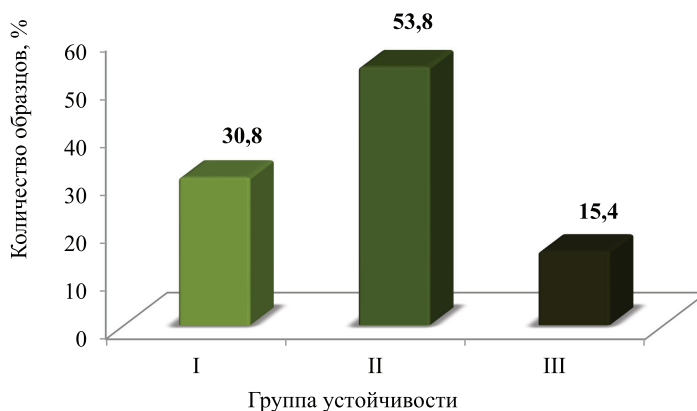
Всхожесть семян при концентрации раствора (8 атм.) имела статистически значимые отличия ( $P > 0,95$ ) по сравнению с вариантами 3, 10, 12 и 14 атм. При 8 атмосферах максимальные значения диапазона вариации и стандартного отклонения указывают на большую изменчивость признака. Разница в проращении между 3 ( $R = 28,7$  и  $\sigma = 7,0$  %) и 14 ( $R = 24,9$  и  $\sigma = 6,0$  %) атмосферами статистически незначима. Поэтому при проведении косвенной оценки относительной засухоустойчивости использовали раствор сахарозы с осмотическим давлением 8 атм.

На втором этапе исследований была проведена оценка устойчивости сортообразцов. Процент всхожести семян использовали в качестве критерия, и по этим результатам образцы были разделены на 3 группы (слабоустойчивые, среднеустойчивые, высокозасухоустойчивые) (рис. 2).

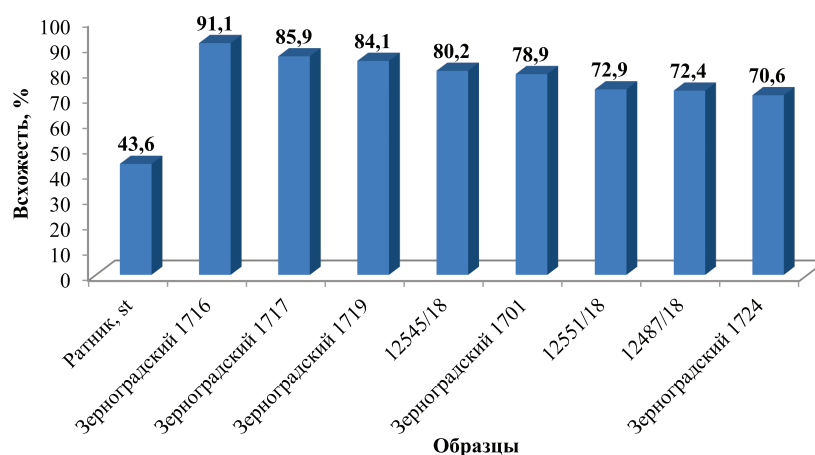
К группе слабозасухоустойчивые (0–39 %) относятся 4 генотипа, что составило 15,4 %, со всхожестью семян от 14,6 (Зерноградский 1685) до 33,3 % (Зерноградский 1781).

Среднеустойчивые (40–69 %) составили 53,8 % (14 образцов), всхожесть которых была от 43,6 (Ратник) до 69,8 % (Зерноградский 1721).

Высокозасухоустойчивых (70–100 %) выявлено 8 образцов, что составило 30,8 %, всхожесть семян которых варьировала от 70,6 (Зерноградский 1724) до 91,1 % (Зерноградский 1716) (рис. 3).



**Рис. 2.** Распределение образцов ярового ячменя по группам засухоустойчивости (2018–2020 гг.)  
**Fig. 2.** Distribution of spring barley samples according to drought tolerance groups (2018–2020)



**Рис. 3.** Выделившиеся образцы ярового ячменя по относительной засухоустойчивости (2018–2020 гг.)  
**Fig. 3.** Identified spring barley samples according to relative drought tolerance (2018–2020)

Максимальные значения всхожести семян ярового ячменя при осмотическом стрессе давлением 8 атмосфер в сравнении со стандартным сортом Ратник (43,6 %) зафиксированы у образцов Зерноградский 1716 (91,1 %), Зерноградский 1717 (85,9 %) и Зерноградский 1719 (84,1 %). Выделенные генотипы характеризуются способностью переносить неблагоприятные условия среды, связанные с недостатком поступления воды в клетки растений за счет более высокой поглотительной способности семян, обусловленной генетическими факторами.

**Выводы.** В ходе изучения засухоустойчивости сортов и линий ярового ячменя установлено, что при концентрации раствора сахарозы 8 атм. наблюдался наиболее широкий диапазон варьирования всхожести семян.

Проведенные исследования позволили распределить сорта и линии ярового ячме-

ня по группам устойчивости в соответствии с отработанной методикой. Среднеустойчивые к водному стрессу генотипы: 12477/18 (67,9 %), 12523/18 (65,4 %), 12512/18 (64,1%), Зерноградский 1723 (59,2 %), Зерноградский 1628 (58,0 %), Зерноградский 1686 (54,5%), Зерноградский 1726 (52,7 %), Леон (51,9 %), 12515/18 (51,7 %), 12489/18 (45,5 %), Ратник (43,6 %). Высокой засухоустойчивостью характеризуются образцы Зерноградский 1716 (91,1 %), Зерноградский 1717 (85,9 %), Зерноградский 1719 (84,1 %), 12545/18 (80,2 %), Зерноградский 1701 (78,9 %), 12551/18 (72,9 %), 12487/18 (72,4 %), Зерноградский 1724 (70,6 %), Зерноградский 1721 (69,8 %), 12525/18 (69,2 %).

Семена обозначенных сортов и линий могут прорасти в условиях слабо доступной влаги, так как они развивают большую поглотительную способность, чем способность внешнего раствора препятствовать проникновению воды.

#### Библиографические ссылки

- Газе В. Л., Лиховидова В. А., Ионова Е. В. Определение уровня засухоустойчивости образцов озимой мягкой пшеницы прямыми и косвенными методами // Зерновое хозяйство России. 2018. № 2(56). С. 25–28.
- Донцова А. А., Филиппов Е. Г., Донцов Д. П., Терновая Е. А. Производство ячменя в мире и России // Зерновое хозяйство России. 2016. № 6. С. 7–13.

3. Доспехов Б. А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований). Изд. 5-е., перераб. и доп. М.: Альянс, 2014. 351 с.
4. Елисеев С. Л., Яркова Н. Н., Ашихмин Н. В., Батуева И. В. Изменение лабораторной всхожести семян зерновых культур в зависимости от метеорологических и агротехнических условий // Пермский аграрный вестник. 2016. № 1 (13). С. 3–7.
5. Кожушко Н. Н. Оценка засухоустойчивости полевых культур // Диагностика устойчивости растений к стрессовым воздействиям: методическое руководство. Л.: ВИР, 1988. С. 10–24.
6. Кокина Л. П., Щенникова И. Н., Зайцева И. Ю. Оценка коллекционных образцов ячменя на устойчивость к осмотическому стрессу // Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2018. Т. 66, № 5. С. 40–44. DOI: 10.30766/2072-9081.2018.66.5.40-44.
7. Морозов Н. А., Самсонов И. В., Панкратова Н. А. Оценка исходного материала ярового ячменя на адаптивность к засушливым условиям Ставропольского края // Зерновое хозяйство России. 2021. № 5(77). С. 29–34. DOI: 10.31367/2079-8725-2021-77-5-29-34.
8. 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.
9. Macholdt J., Honermeier B. Yield Stability in Winter Wheat Production: A Survey on German Farmers' and Advisors' Views // Agronomy. 2017. Vol. 7(3). P. 45. DOI: 10.3390/agronomy7030045.
10. Marthandan V., Geetha R., Kumutha K., Renganathan VG., Karthikeyan A., Ramalingam J. Seed Priming: A Feasible Strategy to Enhance Drought Tolerance in Crop Plants // International Journal of Molecular Sciences. 2020. Vol. 21(21). P. 8258. DOI: 10.3390/ijms21218258.
11. Sallam Ahmed, Alqudah Ahmad M., Mona F. A. Dawood, Baenziger P. Stephen, Börner Andreas. Drought Stress Tolerance in Wheat and Barley: Advances in Physiology, Breeding and Genetics Research // International Journal of molecular science. 2019. Vol. 20. P. 3137. DOI: 10.3390/ijms20133137.

### References

1. Gaze V. L., Likhovidova V. A., Ionova E. V. Opredelenie urovnya zasukhoustoichivosti obratstov ozimoi myagkoi pshenitsy pryamym i kosvennymi metodami [Identification of drought resistance level of winter bread wheat samples by direct and indirect methods] // Zernovoe khozyaistvo Rossii. 2018. № 2(56). S. 25–28.
2. Dontsova A. A., Filippov E. G., Dontsov D. P., Ternovaya E. A. Proizvodstvo yachmenya v mire i Rossii [Barley production in the world and Russia] // Zernovoe khozyaistvo Rossii. 2016. № 6. S. 7–13.
3. Dosppekhev 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.
4. Eliseev S. L., Yarkova N. N., Ashikhmin N. V., Batueva I.V. Izmenenie laboratornoi vskhozhesti semyan zernovykh kul'tur v zavisimosti ot meteorologicheskikh i agrotekhnicheskikh uslovii [Change in the laboratory germination of grain crop seeds depending on weather and agrotechnical conditions] // Permskii agrarnyi vestnik. 2016. № 1 (13). S. 3–7.
5. Kozhushko N. N. Otsenka zasukhoustoichivosti polevykh kul'tur. // Diagnostika ustoichivosti rastenii k stressovym vozdeistviyam: metodicheskoe rukovodstvo [Diagnosis of plant resistance to stress: a methodological recommendation]. L.: VIR, 1988. S. 10–24.
6. Kokina L. P., Shchennikova I. N., Zaitseva I. Yu. Otsenka kollektсионnykh obratstov yachmenya na ustoichivost' k osmoticheskomu stressu [Estimation of barley collection samples for resistance to osmotic stress] // Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka. 2018. Т. 66, № 5. S. 40–44. DOI: 10.30766/2072-9081.2018.66.5.40-44.
7. Morozov N. A., Samsonov I. V., Pankratova N. A. Otsenka iskhodnogo materiala yarovogo yachmenya na adaptivnost' k zasushlivym usloviyam Stavropol'skogo kraya [Estimation of spring barley initial material for adaptability to aridity of the Stavropol Territory] // Zernovoe khozyaistvo Rossii. 2021. № 5(77). S. 29–34. DOI: 10.31367/2079-8725-2021-77-5-29-34.
8. Yusova O. A., Nikolaev P. N., Bendina Ya. B., Safonova I. V., Anis'kov N. I. Stressoustoichivost' sortov yachmenya razlichnogo agroekologicheskogo proiskhozhdenie dlya uslovii rezko-kontinental'nogo klimata [Stress resistance of barley varieties of different agro-ecological origin for conditions of sharply continental climate] // Trudy po prikladnoi botanike, genetike i selektsii. 2020. Т. 181, № 4. S. 44–45.
9. Macholdt J., Honermeier B. Yield Stability in Winter Wheat Production: A Survey on German Farmers' and Advisors' Views // Agronomy. 2017. Vol. 7(3). P. 45. DOI: 10.3390/agronomy7030045.
10. Marthandan V., Geetha R., Kumutha K., Renganathan VG., Karthikeyan A., Ramalingam J. Seed Priming: A Feasible Strategy to Enhance Drought Tolerance in Crop Plants // International Journal of Molecular Sciences. 2020. Vol. 21(21). P. 8258. DOI: 10.3390/ijms21218258.
11. Sallam Ahmed, Alqudah Ahmad M., Mona F. A. Dawood, Baenziger P. Stephen, Börner Andreas. Drought Stress Tolerance in Wheat and Barley: Advances in Physiology, Breeding and Genetics Research // International Journal of molecular science. 2019. Vol. 20. P. 3137. DOI: 10.3390/ijms20133137.

Поступила: 21.06.22; доработана после рецензирования: 03.08; принята к публикации: 5.08.22.

**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; Костылев П. И., Филиппов Е. Г. – анализ данных и их интерпретация.

**Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.**