

ИЗУЧЕНИЕ И ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ГЕНЕТИЧЕСКИХ РЕСУРСОВ РАСТЕНИЙ

Научная статья

УДК 633.16:631.528

DOI: 10.30901/2227-8834-2024-1-27-38



Комплексная оценка мутантов ярового ячменя по элементам урожайности

А. А. Белозерова, Д. А. Базюк, Н. А. Боме

Тюменский государственный университет, Тюмень, Россия

Автор, ответственный за переписку: Анна Алексеевна Белозерова, anna-bel@bk.ru

Актуальность. Необходимость увеличения генетического разнообразия ячменя (*Hordeum vulgare* L.) определяется его ценностью и распространенностью, что особенно важно в контексте меняющегося климата.

Материал и методы. Исследование проведено в 2021 и 2022 г. на экспериментальном участке биостанции «Озеро Кучак», расположенном в Нижнетавдинском районе Тюменской области (57°20'57.3"N, 66°03'21.8"E). Мутантные формы получены при обработке семян сорта 'Зерноградский 813', образцов Dz02-129, С.1. 10995 растворами химического мутагена фосфемид в концентрациях 0,002% ($2 \cdot 10^{-3}$ М) и 0,01% ($1 \cdot 10^{-2}$ М). Выполнена оценка мутантов пятого (M_5) и шестого (M_6) поколений по комплексу селекционно ценных признаков в сравнении с исходными формами и стандартными сортами 'Ача' и 'Абалак'. В лабораторных условиях проведен анализ основных признаков продуктивности, рассчитаны селекционные индексы (индекс потенциала колоса, канадский индекс, индекс линейной плотности колоса, мексиканский индекс, индекс продуктивности растения, финско-скандинавский индекс).

Результаты и заключение. Большинство изученных мутантов в условиях дефицита влаги и повышенных температур превосходили исходные формы по признакам продуктивности. Выделены мутантные образцы со стабильным проявлением признаков независимо от условий вегетационного сезона. Оценка взаимодействия «генотип – среда» с помощью селекционных индексов позволила выявить перспективные мутанты для включения в селекционные программы. На основе корреляционного анализа установлены индексы, тесно связанные с урожайностью зерна: канадский ($r = 0,85$), мексиканский ($r = 0,76$), индекс продуктивности растений ($r = 0,70$), которые можно рекомендовать для отбора стрессоустойчивых форм ячменя.

Ключевые слова: двурядный и многорядный ячмень, химический мутагенез, фосфемид, продуктивность, селекционные индексы

Благодарности: исследования выполнены в рамках государственного задания Министерства науки и высшего образования РФ № FEWZ-2021-0007 «Адаптивная способность сельскохозяйственных растений в экстремальных условиях Северного Зауралья».

Авторы благодарят рецензентов за их вклад в экспертную оценку этой работы.

Для цитирования: Белозерова А.А., Базюк Д.А., Боме Н.А. Комплексная оценка мутантов ярового ячменя по элементам урожайности. *Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции*. 2024;185(1):27-38. DOI: 10.30901/2227-8834-2024-1-27-38

STUDYING AND UTILIZATION OF PLANT GENETIC RESOURCES

Original article

DOI: 10.30901/2227-8834-2024-1-27-38

Comprehensive evaluation of spring barley mutants according to their yield components

Anna A. Belozerova, Denis A. Bazyuk, Nina A. Bome

University of Tyumen, Tyumen, Russia

Corresponding author: Anna A. Belozerova, anna-bel@bk.ru

Background. The need to increase the genetic diversity of barley (*Hordeum vulgare* L.) is determined by its value and cultivation scope, which is especially important in the context of the changing climate.

Material and methods. The study was carried out in 2021 and 2022 at the experimental site of the Lake Kuchak biostation located in Nizhnetavdinsky District, Tyumen Province (57°20'57.3"N, 66°03'21.8"E). Mutant forms were obtained by treating seeds of accessions 'Zernogradsky 813', Dz02-129 and C.I. 10995 with solutions of the chemical mutagen phosphemide at concentrations of 0.002% ($2 \cdot 10^{-3}$ M) and 0.01% ($1 \cdot 10^{-2}$ M). The mutants of the fifth (M_5) and sixth (M_6) generations were evaluated for a set of traits valuable for breeding in comparison with the original forms and reference cultivars 'Acha' and 'Abalak'. The main productivity characters were analyzed in the laboratory, and breeding indices were calculated (ear potential index, Canadian index, ear linear density index, Mexican index, plant productivity index, and Finnish-Scandinavian index).

Results and conclusion. Most of the studied mutants under moisture deficit and elevated temperature conditions were superior to the original forms in their productivity characters. Mutant plant samples with stable manifestation of those traits, irrespective of the growing season conditions, were selected. Assessment of the genotype–environment interaction using breeding indices made it possible to identify promising mutants for inclusion in breeding programs. Correlation analysis helped to identify indices closely related to grain yield: Canadian index ($r = 0.85$), Mexican index ($r = 0.76$), and plant productivity index ($r = 0.70$). They can be recommended for selection of stress-resistant barley forms.

Keywords: two-row and multi-row barley, chemical mutagenesis, phosphemide, productivity, breeding indices

Acknowledgements: the research was carried out within the framework of the state task assigned by the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation, No. FEVZ-2021-0007 "Adaptability of agricultural plants under extreme conditions of the Northern Trans-Urals".

The authors thank the reviewers for their contribution to the peer review of this work.

For citation: Belozerova A.A., Bazyuk D.A., Bome N.A. Comprehensive evaluation of spring barley mutants according to their yield components. *Proceedings on Applied Botany, Genetics and Breeding*. 2024;185(1):27-38. DOI: 10.30901/2227-8834-2024-1-27-38

Введение

Ячмень (*Hordeum vulgare* L.) является одной из важнейших зерновых культур как в России, так и за рубежом, находя свое применение в пищевой (крупяной, пивоваренной) и зернофуражной промышленности. Благодаря универсальности использования и способности переносить сложные почвенно-климатические условия, культура получила широкое распространение. По состоянию на 2021 г. среди зерновых и зернобобовых культур в Российской Федерации ячмень занимает второе место по посевным площадям (5194,5 тыс. га), уступая лишь пшенице (18321,2 тыс. га). В структуре производства зерновых культур Тюменской области ячмень занимает 118,5 тыс. га (Main results..., 2021). В Западной Сибири урожай зерна этой ценной культуры подвержен большим колебаниям по годам, что отрицательно сказывается на экономике региона; наибольшее снижение (в два-три раза) отмечается в засушливые годы (Nikolaev et al., 2018).

В настоящее время в условиях меняющегося климата, приводящего к возникновению различных неблагоприятных погодных явлений в течение вегетационного периода, продолжает оставаться актуальной необходимость увеличения генетического разнообразия сельскохозяйственных растений с целью получения форм, обладающих качественно новыми селекционно ценными признаками и устойчивостью к факторам внешней среды, с привлечением как классических методов (отбор, гибридизация), так и новых (экспериментальный мутагенез, генная инженерия и др.) (Yemelyev, 2007; Beletskaya, Krotova, 2022; Weisfeld, Bome, 2022).

Использование индуцированного мутагенеза при выведении сортов сельскохозяйственных культур позволяет создавать новый исходный материал за относительно короткий промежуток времени (Yemelyev, 2007; Dudin, Balakhontseva, 2013). Теоретические и прикладные аспекты химического мутагенеза были разработаны И. А. Рапопортом. К настоящему времени открыты сотни различных по структуре химических соединений, приводящих к генетическим изменениям, позволяющим увеличивать естественную изменчивость растений, вызывая огромное разнообразие наследственно измененных форм, многие из которых имеют большое селекционное значение. Особенно эффективным стало применение веществ, относящихся к классу супермутагенов (Krotova, 2015; Nazarenko, 2016).

Одним из перспективных химических мутагенов является фосфемид, эффективность которого в повышении биологического разнообразия культурных растений была изучена на яровой и озимой мягкой пшенице и ячмене (Bome et al., 2017; Tetyannikov, Bome, 2022), в результате чего были получены разнообразные мутантные образцы с ценными биологическими и агрономическими свойствами.

В селекционной практике используют различные индексы с целью определения результативности проведенных ранее отборов на фоне резко меняющихся лимитирующих факторов среды. Так, например, для оценки сортов озимой ржи по хозяйственно-биологическим и адаптивным показателям используют индекс урожайности, мексиканский индекс, финско-скандинавский индекс, индекс перспективности, индекс аттракции, индекс потенциальной продуктивности колоса, индекс отношения массы 1000 зерен к числу зерен в колосе (Ermolaeva et al., 2019; Safonova, Aniskov, 2023).

И. Р. Манукян с соавторами (Manukyan et al., 2018) указывают, что преимущество индексов перед абсолютными величинами заключается в установлении закономерности между этими величинами и уменьшении влияния факторов среды на проявление признака, а также выявлении уникальных генотипов. Если в состав индекса входят количественные признаки, связанные тесной корреляцией, и их изменчивость под влиянием условий среды имеет одинаковый характер, то индекс оказывается менее изменчив, чем сами признаки (Manukyan et al., 2018).

По мнению Л. Т. Мальцевой с соавторами (Maltseva et al., 2020), вариабельность селекционных индексов яровой мягкой пшеницы зависит как от генотипа, так и от условий произрастания. В условиях благоприятных по влагообеспеченности, для отбора продуктивных генотипов можно применять мексиканский индекс, канадский индекс, индекс линейной плотности колоса, индекс продуктивности, кроме индекса интенсивности. При жесткой засухе малоэффективен отбор по продуктивности колоса, надежнее – по высоте растений. Селекционные индексы косвенно отражают устойчивость к фитопатогенам за счет массы стебля и массы зерна с колоса. Авторами установлена средняя связь урожайности с индексом интенсивности (0,514–0,596), мексиканским индексом (0,535) и индексом продуктивности (0,520–0,644) (Maltseva et al., 2020).

В качестве наиболее информативного и объективного параметра оценки, по мнению ряда авторов (Safonova, Aniskov, 2022, 2023), рекомендуется индекс продуктивности растений, предложенный И. Р. Манукян с соавторами, так как для его расчета используются три главных элемента: длина колоса, число зерен в колосе, масса зерна с колоса (Manukyan et al., 2018). Он имеет тесную корреляционную связь с продуктивностью и, отражая продуктивность как итог генотип-средового взаимодействия, способствует выявлению устойчивых генотипов, что позволяет предварительно судить об адаптивных свойствах селекционного материала.

Цель данной работы – характеристика мутантов яровой ячменя по элементам урожайности и отбор перспективных форм с использованием селекционных индексов.

Материалы и методы

В качестве объекта исследования были использованы три образца ячменя (*Hordeum vulgare* L.) из мировой коллекции Всероссийского института генетических ресурсов растений имени Н.И. Вавилова ('Зерноградский 813', к-30453, Россия, var. *erectum*; Dz02-129, к-22934, Эфиопия, var. *nigripallidum*, С.1. 10995, к-30630, Перу, var. *sinicum*) и 44 мутантные формы пятого (M_5) и шестого (M_6) поколений, созданных на их основе, представляющие собой результат многократных отборов. Сравнение мутантных форм проводили с исходными образцами и сортами 'Ача' (к-30243, var. *nutans*) и 'Абалак' (к-31201, var. *nutans*), включенными в Государственный реестр сортов, рекомендованных для Тюменской области.

Мутантные формы получены с использованием химического препарата фосфемид – ди-(этиленмид)-пиримидил-2-амидофосфорной кислоты – в концентрациях 0,002% ($2 \cdot 10^{-3}$ М) и 0,01% ($1 \cdot 10^{-2}$ М). Методика создания мутантов, взятых в исследование, описана в статье Н. А. Боме с соавторами (Bome et al., 2020).

Полевое изучение мутантных форм проводили в 2021 и 2022 г. на экспериментальном участке биостанции Тюменского государственного университета «Озеро Кучак»

(57°20'57.3"N, 66°03'21.8"E). Биостанция расположена в Нижнетавдинском районе Тюменской области. Почва окультуренная дерново-подзолистая, супесчаная по гранулометрическому составу (содержание гумуса – 3,67%, рН – 6,6).

Посев контрольных и опытных вариантов осуществляли на делянках с длиной рядка 1 м, число рядков – 5, междурядье – 20 см, глубина заделки семян – 5-6 см, 500 семян на 1 м². Учеты и наблюдения в течение вегета-

ционный Г. Т. Селяниновым (Selyaninov, 1930), по формуле $ГТК = R/0,1 \times \Sigma t$, где R – сумма осадков, мм; Σt – сумма среднесуточной температуры воздуха $> 10^{\circ}\text{C}$. Статистическая обработка экспериментальных данных выполнена с использованием табличного процессора Microsoft Excel и программы Statistica 6.0 (StatSoft, Inc., США).

Вегетационные сезоны в годы проведения исследования значительно различались по гидротермическому режиму (рисунок).

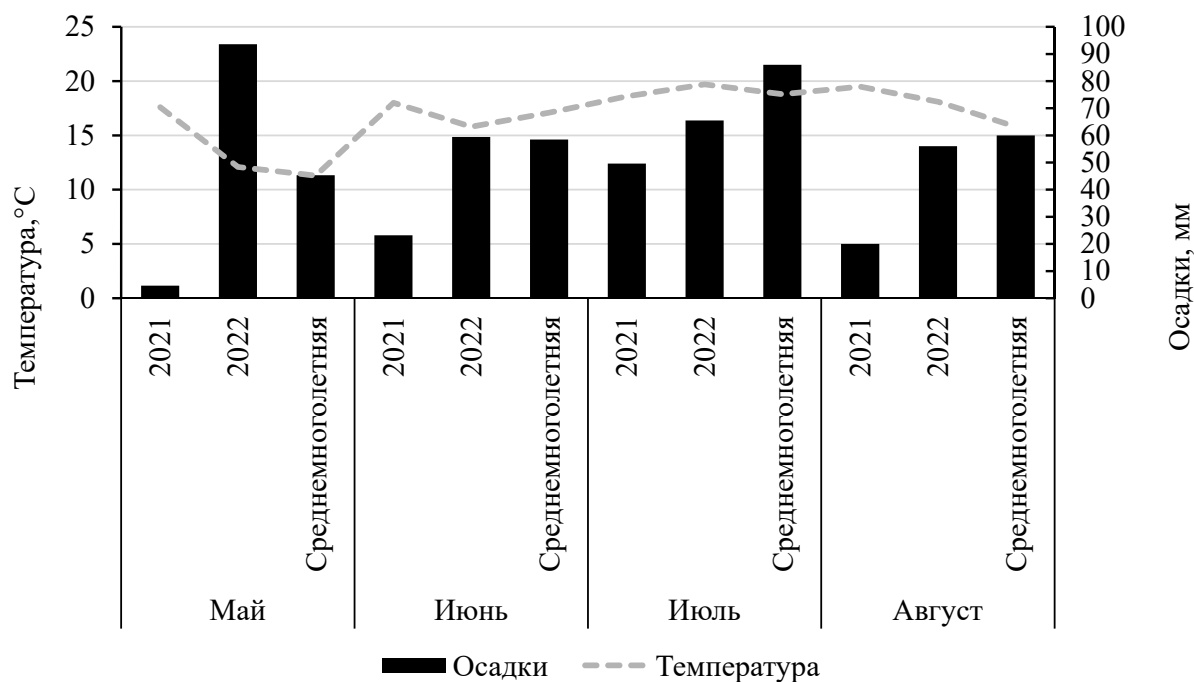


Рисунок. Характеристика вегетационных периодов по гидротермическому режиму в годы исследования (г. Тюмень)

Figure. Characteristics of the growing seasons according to their hydrothermal regime in the years of research (Tyumen)

ционного периода выполняли в соответствии с методическими указаниями по изучению мировой коллекции ячменя и овса (Loskutov et al., 2012). В лабораторных условиях анализировали изменчивость ряда признаков продуктивности (длина колоса, число и масса зерен с колоса, количество продуктивных побегов и урожайность на 1 м²), также учитывали показатели высоты растений в фазу «колошение».

Оценку взаимодействия «генотип – среда» проводили путем расчета ряда селекционных индексов: «индекс потенциала колоса» – отношение длины колоса (см) к высоте растения (см); «канадский индекс (удельный урожай колоса)» – отношение массы зерен с колоса (г) к длине колоса (см); «индекс линейной плотности колоса» – отношение числа зерен с колоса (шт.) к длине колоса (см); «мексиканский индекс» – отношение массы зерен с колоса (г) к высоте растения (см); «индекс продуктивности растения» – отношение произведения числа зерен с колоса (шт.) на массу зерен с колоса (г) к длине колоса (см); «финско-скандинавский индекс» – отношение числа зерен в колосе (шт.) к высоте растения (см) (Dragavtsev, 2009; Manukyan et al., 2018; Sazonova, Aniskov, 2022).

Для характеристики вегетационных периодов рассчитан гидротермический коэффициент (ГТК), предло-

по метеорологическим характеристикам 2021 г. можно рассматривать как очень засушливый (ГТК = 0,44). Острый дефицит влаги наблюдался в мае в период формирования всходов, количество осадков составило 10,2% от среднего многолетнего значения («Условная норма») на фоне повышенных среднесуточных температур воздуха. В период с июня по август количество осадков изменялось от 33,3 до 57,7% от нормы. Превышение температуры по отношению к среднему многолетнему значению также отмечалось в июне и августе. ГТК в период вегетации варьировал от 0,33 в августе до 0,86 в июле.

Более благоприятные условия для роста и развития растений отмечены в вегетационный сезон 2022 г., который по влагообеспеченности и температуре можно охарактеризовать как влажный (ГТК = 1,44). При этом наблюдалось неравномерное распределение осадков по отдельным месяцам с избытком влаги в мае (превышение нормы на 107,3%) и значительным недобором осадков в июле (76,2% от среднего многолетнего значения). По обеспеченности теплом вегетационный сезон был близок к норме в мае, чуть ниже средней многолетней температуры характеризовался июнь, превышение над нормой отмечалось в июле и августе. Гидротермический коэффициент изменялся от 3,41 в мае (переувлажнение) до 1,01 в августе (слабозасушливые условия).

Результаты исследования и их обсуждение

Урожайность представляет собой сложный комплексный признак, стабильное проявление которого и эффективность реализации определяется генотипом, обеспеченностью растений элементами минерального питания, избытком или недостатком влаги в почве в период формирования колоса (Batakova, Korelina, 2017; Danilova, 2021). Основными элементами структуры урожая, определяющими продуктивность растений зерновых культур, являются высота стебля, длина колоса, число и масса зерен с одного колоса (Moiseev et al., 2022).

В нашем исследовании 44 образца ячменя характеризовались значительной изменчивостью отдельных элементов структуры урожая в разные по метеорологическим характеристикам годы.

Одним из генотипических признаков, влияющих на продуктивность сорта, является длина колоса, которая существенно уменьшается в неблагоприятные по климатическим условиям годы (Batakova, Korelina, 2017). В Тюменской области при дефиците влаги в 2021 г. растения ячменя формировали более короткие колосья с меньшим числом зерновок в них, что приводило к снижению массы зерна с колоса и в конечном итоге повлияло на урожайность (табл. 1). При этом у образца 'Зерноградский 813' не установлено значительных различий по изученным признакам между растениями исходной и мутантных форм как в 2021 г., так и в 2022 г. В зависимости от условий вегетационного периода статистически значимые различия по годам у исходной формы наблюдались по массе зерна с колоса, у мутантных форм – по длине колоса и числу зерен в колосе.

У образца из Эфиопии Dz02-129 в условиях дефицита влаги отмечено преимущество растений исходной формы над мутантами по большинству изученных признаков. Статистически значимые различия по годам у исходной формы выявлены по длине колоса, у мутантных форм – по длине колоса, массе зерна с колоса, числу продуктивных побегов с 1 м² и урожайности.

Преимущество мутантов над исходной формой при недостатке влаги в 2021 г. отмечено у образца из Перу С.І. 10995 по массе зерна с колоса, числу продуктивных побегов с 1 м² и урожайности, в 2022 г. – по урожайности. При сравнении признаков продуктивности по годам установлены значительные различия у исходной формы по признакам колоса (длина, масса и число зерен) и урожайности. Мутантные образцы характеризовались стабильным проявлением изученных показателей (за исключением длины колоса).

При оценке перспективности селекционного материала необходимо проводить анализ полученных данных в сравнении с сортами, рекомендованными для конкретного региона. В нашем исследовании при недостатке влаги в 2021 г. преимущество над стандартами 'Ача' и 'Абалак', урожайность которых составила 103,8 г/м² и 379,3 г/м² соответственно, получили образцы 'Зерноградский 813' и Dz02-129. В более благоприятных условиях 2022 г. урожайность была выше у районированных сортов ('Ача' – 439,8 г/м²; 'Абалак' – 379,3 г/м²). Образец С.І. 10995 характеризовался низкой урожайностью в оба года исследования.

Мутанты на основе образцов 'Зерноградский 813' и С.І. 10995 превышали сорта 'Ача' и 'Абалак' по урожайности в 2021 г. на 52,5–59,3% и 7,5–20,7% соответственно. Мутанты образца из Эфиопии при сравнении со стандартами по урожайности при дефиците

влаги были выше 'Ача' на 36,7% и уступали 'Абалак' на 23,3%.

В 2021 г. наибольшее количество мутантов (31) превосходили по урожайности исходный образец из Перу на 6,21–721% (более чем в 8 раз). У двух форм ЭИИ5(55) и ЭИИ11(64), полученных на основе образца из Эфиопии при обработке фосфемидом в концентрации 0,002%, превышение составило 21,68% и 6,74% соответственно. В целом дефицит влаги в период всходов и колошения привел к снижению урожайности у подавляющего числа мутантов этой группы. Мутантные формы на основе сорта 'Зерноградский 813' в условиях 2021 г. по признакам продуктивности находились на уровне контроля. В 2022 г. различия по зерновой продуктивности между исходной и мутантными формами были менее выраженными. Выделились один мутант на основе образца из России, два – из Эфиопии, 26 – из Перу с превышением урожайности на 1,6–156,8%.

По результатам комплексной оценки в контрастных по гидротермическому режиму вегетационных сезонах выделены 12 образцов с относительно стабильным проявлением признаков продуктивности и как перспективные для включения в селекционные программы (табл. 2). Мутант РІ9(37) ('Зерноградский 813', 0,002%) по изученным признакам был на уровне исходной формы в оба года исследования, за исключением числа зерен в колосе в 2022 г. В относительно благоприятных по гидротермическому режиму условиям мутант формировал более высокую урожайность.

Мутант ЭИИ5(55) (Dz02-129, 0,002%) в 2021 г. превосходил контроль по всем изученным показателям, в то время как в 2022 г. из-за низкого числа продуктивных стеблей на 1 м² сформировал низкую урожайность. По остальным признакам он был на уровне исходной формы.

Большинство мутантов (С.І. 10995, 0,01%) отличались более высокой урожайностью среди всех изученных образцов, но различались по вкладу отдельных признаков, характеризующих продуктивность колоса. Количество мутантов, достоверно превышающих контроль по трем признакам, составило четыре в 2021 г. и один в 2022 г.; по двум признакам – четыре и два соответственно; по одному признаку – один мутантный генотип в 2021 г., остальные находились на уровне контроля. В оба года исследования превышал контроль по всем изученным признакам лишь один мутант – ПІV19(45) 0,01%. К числу лучших также отнесены образцы, которые характеризовались стабильным проявлением большинства признаков продуктивности независимо от условий года – ПІV19(44) 0,01%, ПІІІ2(82) 0,01%.

О значении оптимального сочетания отдельных элементов структуры урожая во взаимосвязи с общей продуктивностью при создании нового исходного материала сообщают и другие исследователи (Kononov, Sidorenko, 1990; Pomelov, Dudin, 2008; Sidorenko et al., 2016).

В качестве дополнительной характеристики мутантных образцов нами были рассчитаны некоторые индексы (табл. 3), используемые в селекции зерновых культур для оценки взаимодействия «генотип – среда». Значение индексов заключается в возможности оценивать и отбирать селекционный материал не по одному признаку, а по их совокупности во взаимосвязи с параметрами продуктивности (Dragavtsev, 2009; Manukyan et al., 2019).

В нашем исследовании в условиях водного стресса растения ячменя формировали более короткую соломи-

Таблица 1. Изменчивость признаков продуктивности мутантных и исходных форм ячменя в разные годы исследования (Нижнетагдинский район, Тюменская область)
Table 1. Variability of productivity characters in mutant and original barley forms in different years of research (Nizhnetavdinsky District, Tyumen Province)

Образец, год, признак / Accession, year, character	Длина колоса, см / Ear length, cm		Число зерен в колосе, шт. / Number of grains per ear, pcs.		Масса зерна с колоса, г / Grain weight per ear, g		Продуктивные побеги, шт./м ² / Productive tillers, pcs./m ²		Урожайность, г/м ² / Yield, g/m ²		
	lim	X ± m _x	lim	X ± m _x	lim	X ± m _x	lim	X ± m _x	lim	X ± m _x	
‘Зерноградский 813’											
2021	1	5,5–6,5	6,2 ± 0,15	17,8–20,4	19,2 ± 0,52	0,55–0,85	0,69 ± 0,05	280–368	335,5 ± 19,67	182,0–304,3	232,7 ± 26,9
	2	6,0–6,4	6,2 ± 0,16	19,2–20,2	19,7 ± 0,66	0,65–0,79	0,72 ± 0,07	282–330	306,0 ± 24,00	214,5–222,8	218,6 ± 4,14
2022	1	6,6–6,9	6,7 ± 0,25	19,5–21,5	20,7 ± 1,03	0,84–1,0	0,95 ± 0,06Δ	199–359	280,0 ± 32,69	185,1–359,0	265,2 ± 36,62
	2	6,6–7,2	6,9 ± 0,18Δ	20,7–23,2	21,9 ± 0,75Δ	0,72–1,04	0,88 ± 0,06	290–341	315,5 ± 25,50	208,8–354,6	281,7 ± 72,92
Dz02-129											
2021	1	4,9–6,5	5,8 ± 0,09	30,2–41,2	37,0 ± 1,27	0,70–1,22	0,89 ± 0,07	278–314	300,5 ± 7,80	214,2–383,1	267,0 ± 39,0
	2	4,5–6,4	5,3 ± 0,13*	27,0–42,8	33,9 ± 1,23	0,17–1,40	0,68 ± 0,07*	152–314	250,4 ± 16,11*	51,34–321,0	164,1 ± 26,16*
2022	1	6,7–8,1	7,1 ± 0,28Δ	37,6–46,2	41,0 ± 2,16	0,87–1,29	1,04 ± 0,10	190–323	267,8 ± 29,86	195,7–393,5	281,5 ± 45,54
	2	6,2–7,7	6,9 ± 0,29Δ	26,8–41,9	38,2 ± 2,55	1,02–1,79	1,26 ± 0,1Δ	139–260	188,6 ± 11,71*Δ	155–361,3	235,9 ± 18,13Δ
C.I. 10995											
2021	1	5,4–6,8	6,1 ± 0,10	35,2–45,2	39,7 ± 0,88	0,38–0,58	0,46 ± 0,05	112–144	128,5 ± 6,55	51,2–65,0	58,0 ± 3,1
	2	5,0–8,7	6,4 ± 0,17	17,6–52,2	39,4 ± 1,27	0,55–1,45	0,94 ± 0,11*	122–464	269,7 ± 13,33*	61,6–474,1	255,2 ± 15,61*
2022	1	6,0–8,1	6,8 ± 0,31Δ	31,0–44,7	37,8 ± 2,49	0,52–1,61	0,97 ± 0,10Δ	98–250	187,3 ± 32,43	77,4–275,0	186,5 ± 42,1Δ
	2	5,9–8,6	7,2 ± 0,28Δ	18,8–50,3	41,1 ± 2,30	0,49–1,69	1,14 ± 0,10	28–390	240,3 ± 12,63	19,3–478,9	275,5 ± 16,9*

Примечание: * – различия с исходной формой; Δ – различия по годам; 1 – исходная форма; 2 – мутантные формы
Note: * – differences from the original form; Δ – differences by years; 1 – original form; 2 – mutant forms

Таблица 2. Сравнительная характеристика перспективных мутантных образцов ячменя по признакам продуктивности в разные годы исследования (Нижнетавдинский район, Тюменская область)

Table 2. Comparative description of promising mutant barley accessions according to their productivity characters in different years of research (Nizhnetavdinsky District, Tyumen Province)

Образец / Accession	2021 г.						2022 г.					
	Продуктивные побеги, шт./м ² / pcs./m ²	Длина колоса, см / cm	Число зерен в колосе, шт. / Number of grains per ear, pcs.	Масса зерна с колоса, г / Grain weight per ear, g	Урожайность, г/м ² г/м ² / Yield, g/m ² / g/m ²	% к контролю / % to the control	Продуктивные побеги, шт./м ² / pcs./m ²	Длина колоса, см / cm	Число зерен в колосе, шт. / Number of grains per ear, pcs.	Масса зерна с колоса, г / Grain weight per ear, g	Урожайность, г/м ² г/м ² / Yield, g/m ² / g/m ²	% к контролю / % to the control
‘Зерноградский 813’												
P19(37) 0,002%	282	6,4 ± 0,18Δ	20,2 ± 0,58Δ	0,79 ± 0,03Δ	222,8	95,9	341	7,2 ± 0,23Δ	23,2 ± 0,61Δ*	1,04 ± 0,06Δ	354,6	133,7
Dz02-129												
ЭП5(55) 0,002%	228	6,4 ± 0,17*	42,8 ± 1,50*	1,4 ± 0,05*	321,5	121,7	139	6,6 ± 0,44	34,5 ± 4,23	1,4 ± 0,16	194,6	69,1
С.1.10995												
П117(12) 0,01%	294	6,7 ± 0,12*	40,8 ± 1,24*	1,02 ± 0,10	299,9	517,1	156	7,2 ± 0,29	41,0 ± 4,69	1,09 ± 0,10	171,6	92,0
П1V19(44) 0,01%	338	6,6 ± 0,06Δ*	43,4 ± 1,12*	0,91 ± 0,16*	307,6	530,4	241	7,2 ± 0,28Δ	46,2 ± 2,09*	1,33 ± 0,14*	320,5	171,9
П1V19(45) 0,01%	192	8,0 ± 0,19*	52,2 ± 1,46*	1,45 ± 0,14*	278,4	480,0	191	7,9 ± 0,28*	49,9 ± 1,94*	1,55 ± 0,15*	296,1	158,8
П1П6(76) 0,01%	358	6,4 ± 0,21	38,2 ± 1,74	1,33 ± 0,09*	476,1	821,0	281	6,4 ± 0,17	40,4 ± 1,09	1,23 ± 0,11	345,6	185,3
П1П6(77) 0,01%	296	6,1 ± 0,17	38,8 ± 0,97	1,07 ± 0,15*	316,7	546,1	236	6,4 ± 0,10	41,8 ± 1,62	1,14 ± 0,09	296,0	158,7
П1П7(79) 0,01%	288	6,8 ± 0,12*	42,4 ± 1,94	1,0 ± 0,25*	288,0	496,6	199	7,0 ± 0,55	42,0 ± 4,32	1,17 ± 0,21	232,8	124,8
П1П3(82) 0,01%	194	6,6 ± 0,16*	39,4 ± 2,54	1,12 ± 0,11*	217,3	374,7	328	7,33 ± 0,31	43,7 ± 2,42	1,27 ± 0,12	416,6	223,4
П1П6(82) 0,01%	232	7,4 ± 0,30*	48,2 ± 0,66*	1,29 ± 0,11*	299,3	516,0	238	7,48 ± 0,27	48,0 ± 1,74*	1,28 ± 0,10*	304,6	163,3
П1V19(86) 0,01%	264	6,5 ± 0,06*	44,4 ± 1,36*	1,12 ± 0,11*	295,7	509,8	216	6,94 ± 0,30	43,7 ± 2,21	1,24 ± 0,15	267,8	143,6
П114(108) 0,01%	216	6,6 ± 0,17*	43,2 ± 1,88	0,74 ± 0,09*	159,8	275,6	203	6,4 ± 0,20	39,6 ± 1,42	0,84 ± 0,05	170,5	91,4

Примечание: контроль – исходный образец; * – различия с исходным образцом; Δ – различия по годам при P < 0,05
Note: the control is the original accession; * – differences from the original accession; Δ – differences by years at P < 0.05

Таблица 3. Оценка перспективных мутантных образцов ячменя по селекционным индексам в разные годы исследования
(Нижнетагдинский район, Тюменская область)

Table 3. Assessment of promising mutant barley accessions according to breeding indices in different years of research
(Nizhnetavdinsky District, Tyumen Province)

Образец / Accession	2021 г.						2022 г.					
	ИПК / EPI	КИ / CI	ИПЛ / ILED	МИ / MI	ИПП / PPI	ФСИ / FSI	ИПК / EPI	КИ / CI	ИПЛ / ILED	МИ / MI	ИПП / PPI	ФСИ / FSI
‘Зерноградский 813’	0,085	0,115	3,19	0,010	2,207	0,271	0,084	0,141	3,09	0,012	2,923	0,259
P19(37) 0,002%	0,099	0,123	3,16	0,012	2,493	0,313	0,086	0,144	3,21	0,012	3,351	0,276
Dz02-129	0,087	0,153	6,40	0,013	5,662	0,557	0,063	0,147	5,79	0,009	6,043	0,364
ЭП15(55) 0,002%	0,085	0,220	6,69	0,019	9,429	0,571	0,064	0,212	5,24	0,014	7,321	0,337
C.I. 10995	0,096	0,076	6,61	0,007	3,023	0,635	0,081	0,143	5,58	0,012	5,416	0,450
P1117(12) 0,01%	0,095	0,152	6,09	0,014	6,211	0,579	0,092	0,152	5,73	0,014	6,239	0,525
P1V19(44) 0,01%	0,107	0,138	6,58	0,015	5,984	0,701	0,074	0,184	6,40	0,014	8,485	0,474
P1V19(45) 0,01%	0,116	0,181	6,53	0,021	9,461	0,755	0,082	0,196	6,32	0,016	9,793	0,519
P1P6(76) 0,01%	0,099	0,208	5,97	0,021	7,938	0,591	0,067	0,191	6,30	0,013	7,724	0,420
P1P6(77) 0,01%	0,095	0,175	6,36	0,017	6,806	0,605	0,073	0,178	6,51	0,013	7,442	0,473
P1P7(79) 0,01%	0,098	0,147	6,24	0,014	6,235	0,608	0,070	0,168	6,01	0,012	7,048	0,418
P1P3(82) 0,01%	0,104	0,170	5,97	0,018	6,686	0,622	0,077	0,173	5,96	0,013	7,560	0,458
P1P6(82) 0,01%	0,114	0,174	6,51	0,020	8,402	0,742	0,078	0,171	6,42	0,013	8,185	0,498
P1V19(86) 0,01%	0,096	0,172	6,83	0,017	7,650	0,658	0,073	0,179	6,30	0,013	7,818	0,458
P1114(108) 0,01%	0,124	0,112	6,55	0,014	4,844	0,813	0,077	0,132	6,19	0,010	5,222	0,478
‘Ача’	0,118	0,053	2,04	0,006	0,591	0,240	0,076	0,110	2,53	0,008	1,907	0,192
‘Абалак’	0,052	0,106	4,79	0,006	1,676	0,251	0,069	0,120	2,88	0,008	2,173	0,198

Примечание: ИПК – индекс потенциала колоса, см/см; КИ – канадский индекс, г/см; ИПЛ – индекс линейной плотности колоса, шт./см; МИ – мексиканский индекс, г/см; ИПП – индекс продуктивности растений, шт. × г/см; ФСИ – финско-скандинавский индекс, шт./см

Note: EPI – ear potential index, cm/cm; CI – Canadian index, g/cm; ILED – index of linear ear density, pcs./cm; MI – Mexican index, g/cm; PPI – plant productivity index, pcs. × g/cm; FSI – Finnish-Scandinavian index, pcs./cm

ну и колос, что нашло отражение в индексе потенциала колоса, который варьировал в более широких пределах в благоприятных условиях (от 0,054 до 0,128 см/см), чем при дефиците осадков (от 0,068 до 0,124 см/см). У отобранных мутантов отношение длины колоса к высоте растения в 2022 г. было ниже, чем в 2021 г. (см. табл. 3). Близкими значениями, независимо от особенностей вегетационного периода, характеризовался индекс потенциала колоса у исходного сорта 'Зерноградский 813' и мутанта, полученного на основе образца из Перу, П117(12) 0,01%.

В исследованиях И. П. Сафоновой и Н. И. Аниськова (Safonova, Aniskov, 2023) на озимой ржи к числу лучших по данному показателю отнесены сорта с индексом потенциала колоса от 0,09 и выше. В нашем исследовании в 2021 г. у большинства образцов ячменя отношение длины колоса к высоте растения превышало 0,09, а в 2022 г. только один мутантный образец П117(12) 0,01% выделился по этому показателю (0,092).

Определить степень засухоустойчивости сорта можно на основе канадского индекса, который используют в зонах, где типична весенне-летняя засуха (Safonova, Aniskov, 2022, 2023).

В литературных источниках встречаются сведения, что при отборе по канадскому индексу теряется часть засухоустойчивых генотипов, и отмечается, что для условий Западной Сибири, где типичной считается весенне-летняя засуха, этот индекс непригоден (Kocherina, Dragavtsev, 2008; Maltseva et al., 2020). В последние годы, по нашим наблюдениям, в Тюменской области продолжительность и сроки наступления засушливых периодов в течение вегетации растений изменились, что позволяет использовать канадский индекс.

По величине удельного урожая колоса в 2021 г. выделились три мутантных образца, у которых канадский индекс превышал 0,180 г/см, в 2022 г. – четыре образца, что позволяет говорить об их потенциальной засухоустойчивости. В целом данный показатель у изученных мутантов варьировал от 0,031 до 0,220 г/см в 2021 г. и от 0,080 до 0,235 г/см в 2022 г.

Индекс линейной плотности колоса дает возможность получить информацию по взаимосвязи «генотип – среда» (Safonova, Aniskov, 2023). Отношение числа зерен с колоса к длине колоса у большинства мутантов, полученных на основе многорядных образцов, превышало 6 шт. на 1 см длины колоса, у двурядных образцов, в том числе у стандартов, индекс линейной плотности составлял от 2 до 5 зерновок на 1 см. В 2021 г. к числу лучших по этому показателю отнесены девять мутантных форм, в 2022 г. – восемь. У ряда образцов в оба года исследования отмечено стабильное проявление индекса линейной плотности колоса: П1V19(44) 0,01%, П1V19(45) 0,01%, П1I6(77) 0,01%, П1I7(79) 0,01%, П1I6(82) 0,01%, П1V19(86) 0,01%, П114(108) 0,01%. Данный показатель варьировал в условиях дефицита влаги от 2,51 до 7,10 шт./см, в благоприятных условиях – от 2,51 до 6,59 шт./см.

Мексиканский индекс учитывает продуктивность колоса во взаимосвязи с высотой растения, показывая способность соломины нести нагрузку колоса и устойчивость к полеганию (Safonova, Aniskov, 2022, 2023). Под действием теплового и водного стрессоров образцы ячменя в 2021 г. отличались низкорослостью и меньшей массой зерна с растения по сравнению с 2022 г.; за счет

этого у большинства перспективных мутантов мексиканский индекс был выше, чем в более благоприятных условиях. По данному показателю в 2021 г. выделились четыре образца: ЭП15(55) 0,002%, П1V19(45) 0,01%, П1I6(76) 0,01%, П1I6(82) 0,01%, у которых отношение массы зерна к высоте растения превышало 0,018 г/см. В 2022 г. максимальное значение мексиканского индекса составило 0,016 г/см (у мутанта П1V19(45) 0,01%). В целом по мутантным образцам индекс изменялся в 2021 г. от 0,03 до 0,021 г/см, в 2022 г. – от 0,05 до 0,016 г/см.

И. Р. Манукян с соавторами (Manukyan et al., 2019) отмечают невысокую информативность таких индексов, как полтавский, мексиканский, канадский и индекс линейной плотности колоса, так как связь между показателями, на основе которых они получены, не прямая, а косвенная. Поэтому авторами был предложен индекс продуктивности растений, который рассчитывается по трем главным признакам колоса: длина, число и масса зерен с колоса. В исследованиях И. Р. Манукян с соавторами на озимой пшенице установлено, что абсолютные значения индекса продуктивности растений широко варьируют, что повышает его информативность и увеличивает точность оценки адаптивных свойств селекционного материала (Manukyan et al., 2019).

В нашем исследовании индекс продуктивности растений изменялся в широких пределах (1,133–9,461 шт. × г/см в 2021 г., 2,113–10,280 шт. × г/см в 2022 г.); минимальная величина этого показателя отмечена у стандартных образцов в оба года исследования. При недостаточной влагообеспеченности и в относительно благоприятных условиях к числу лучших по индексу продуктивности растений отнесены образцы П1V19(45) 0,01%, П1I6(82) 0,01%; кроме того, по данному показателю выделились ЭП15(55) 0,002% (2021 г.), П1V19(44) 0,01% (2022 г.).

Финско-скандинавский индекс позволяет дать характеристику генотипа по зернообразующей способности (Safonova, Aniskov, 2022). Большинство мутантных образцов по зернообразующей способности превосходили исходные формы в оба года исследования. В целом у изученных мутантов диапазон варьирования финско-скандинавского индекса в 2021 г. составил 0,281–0,813 шт./см, в 2022 г. – 0,212–0,547 шт./см. В условиях дефицита влаги растения ячменя отличались более высокой зернообразующей способностью; у лучших образцов величина финско-скандинавского индекса превышала в 2021 г. 0,7 шт./см, в 2022 г. – 0,5 шт./см.

По комплексу индексов среди лучших мутантов выделился один – П1V19(45) 0,01%, стабильно превышавший исходную форму по признакам продуктивности в оба года исследования. В засушливых условиях высокими значениями отдельных индексов также отличались мутанты ЭП15(55) 0,002%, П1V19(44) 0,01%, П1I6(82) 0,01% и П114(108) 0,01%.

Использование селекционных индексов, имеющих достоверную корреляционную связь с урожайностью, является одним из важнейших этапов селекционной работы (Zenkina, Aseeva, 2020). По нашим результатам в условиях недостаточной влагообеспеченности отмечается тесная корреляция между урожайностью и канадским индексом ($r = 0,85$), мексиканским индексом ($r = 0,76$) и индексом продуктивности растений ($r = 0,70$), тогда как в благоприятных условиях связь урожайности с перечисленными индексами ослабевает.

Заключение

У изученных генотипов прослеживается общая закономерность реакции на водный и тепловой стресс в 2021 г., проявившаяся в снижении урожайности и ее составляющих. Наибольшая чувствительность к неблагоприятным факторам среды наблюдалась по длине колоса и массе зерна с колоса.

Ценность для практической селекции представляют 12 мутантных образцов, характеризующиеся стабильным проявлением признаков продуктивности в меняющихся условиях среды.

На основе селекционных индексов выделены потенциально засухоустойчивые генотипы ПИВ19(44), ПИВ19(45), ПИВ6(82), созданные с помощью химического мутагена фосфемиды после обработки семян образца из Перу (С.И. 10995, к-30630) в концентрации 0,01%, а также ЭП15(55) после обработки образца из Эфиопии (Dz02-129, к-22934) в концентрации 0,002%.

Полученные данные позволяют говорить о целесообразности использования трех индексов (канадский, мексиканский, индекс продуктивности растений) для отбора перспективных форм ячменя в стрессовых условиях.

References / Литература

- Batakova O.B., Korelina V.A. The effect of yield structure elements on spring barley (*Hordeum vulgare* L.) productivity in the environments of Russia's Extreme North. *Proceedings of Applied Botany, Genetics and Breeding*. 2017;178(3):50-58. [in Russian] (Батакова О.Б., Корелина В.А. Влияние элементов структуры урожая на продуктивность ячменя ярового (*Hordeum vulgare* L.) в условиях Крайнего Севера РФ. *Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции*. 2017;178(3):50-58). DOI: 10.30901/2227-8834-2017-3-50-58
- Beletskaya Ye.Ya., Krotova L.A. Creation of innovative breeding material for sustainable grain production of soft wheat. *Modern Management Technology*. 2022;2(98):9801. [in Russian] (Белецкая Е.Я., Кротова Л.А. Создание инновационного селекционного материала для устойчивого зернового производства мягкой пшеницы. *Современные технологии управления*. 2022;2(98):9801). DOI: 10.24412/2226-9339-2022-298-1
- Bome N.A., Tetjannicov N.V., Weisfeld L.I., Kolokolova N.N., Wasserman L.A., Goldstain V.G. et al. The content of starch and amylose in the grain of mutant populations of barley. *Chemistry of Plant Raw Material*. 2020;(4):243-250. [in Russian] (Боме Н.А., Тетянников Н.В., Вайсфельд Л.И., Колоколова Н.Н., Вассерман Л.А., Гольдштейн В.Г. и др. Содержание крахмала и амилозы в зерне мутантных популяций ячменя. *Химия растительного сырья*. 2020;(4):243-250). DOI: 10.14258/jcprgm.2020048010
- Bome N.A., Weisfeld L.I., Korolev K.P., Tetiannikov N.V. Reaction of various types of plants M_1 on the action of the chemical mutagen of phosphemide. *Modern Science Success*. 2017;1(9):121-124. [in Russian] (Боме Н.А., Вайсфельд Л.И., Королёв К.П., Тетянников Н.В. Реакция различных видов растений M_1 на воздействие химического мутагена фосфемиды. *Успехи современной науки*. 2017;1(9):121-124).
- Danilova T.N. Influence of hydrogels on indicators of the harvest structure of grain crops under model soil dry "dryer" and in field conditions. *Izvestiya of Saint-Petersburg State Agrarian University*. 2021;64(3):31-39. [in Russian] (Данилова Т.Н. Влияние гидрогелей на показатели структуры урожая зерновых культур в условиях модельной почвенной засухи «засушник» и в полевых условиях. *Известия Санкт-Петербургского государственного аграрного университета*. 2021;64(3):31-39). DOI: 10.24412/2078-1318-2021-3-31-39
- Dragavtsev V.A. Ecologogenetic organization of polygenic traits of plants and the theory of selection indices. *Molecular and Applied Genetics*. 2009;9:7-13. [in Russian] (Драгавцев В.А. Эколого-генетическая организация полигенных признаков растений и теория селекционных индексов. *Молекулярная и прикладная генетика*. 2009;9:7-13).
- Dudin G.P., Balakhontseva L.N. Mutational variability of barley affected by potassium carbonate and red emission. *Bulletin of Altai State Agricultural University*. 2013;10(108):32-37. [in Russian] (Дудин Г.П., Балахонцева Л.Н. Мутационная изменчивость растений ячменя под влиянием карбоната калия и излучения красного диапазона. *Вестник Алтайского государственного аграрного университета*. 2013;10(108):32-37).
- Ermolaeva T.Ya., Nuzhdina N.N., Goverdov D.V., Salmanova N.A., Fedotova N.M. Comparative evaluation of winter rye varieties by economic and biological indicators. *Advances in Current Natural Sciences*. 2019;(7):14-20. [in Russian] (Ермолаева Т.Я., Нуждина Н.Н., Говердов Д.В., Салманова Н.А., Федотова Н.М. Сравнительная оценка сортов озимой ржи по хозяйственно-биологическим показателям. *Успехи современного естествознания*. 2019;(7):14-20).
- Kocherina N.V., Dragavtsev V.A. Introduction to the theory of ecological and genetic organization of polygenic traits of plants and the theory of breeding indices (Vvedeniye v teoriyu ekologo-geneticheskoy organizatsii poligennykh priznakov rasteniy i teoriyu selektsionnykh indeksov). St. Petersburg: STsDB; 2008. [in Russian] (Кочерина Н.В., Драгавцев В.А. Введение в теорию эколого-генетической организации полигенных признаков растений и теорию селекционных индексов. Санкт-Петербург: СЦДБ; 2008).
- Konovalov Yu.B., Sidorenko V.S. Association of yield and productivity of spring barley cultivars with yield structure components and other indicators (Svyaz urozhaynosti i produktivnosti sortov yarovogo yachmenya s elementami struktury urozhaya i drugimi pokazatelyami). *Izvestiya of Timiryazev Agricultural Academy*. 1990;(4):74-81. [in Russian] (Коновалов Ю.Б., Сидоренко В.С. Связь урожайности и продуктивности сортов ярового ячменя с элементами структуры урожая и другими показателями. *Известия Тимирязевской сельскохозяйственной академии*. 1990;(4):74-81).
- Krotova L.A. Chemical mutagenesis as a method of creating an initial material for breeding wheat. *Research and Scientific Electronic Journal of Omsk SAU*. 2015;2(2):3. [in Russian] (Кротова Л.А. Химический мутагенез как метод создания исходного материала для селекции мягкой пшеницы. *Электронный научно-методический журнал Омского ГАУ*. 2015;2(2):3). URL: <http://e-journal.omgau.ru/index.php/2015-god/2/19-statya-2015-2/145-00034> [дата обращения: 11.10.2023].
- Loskutov I.G., Kovaleva O.N., Blinova E.V. Guidelines for the study and preservation of the world collection of barley and oats (Metodicheskiye ukazaniya po izucheniyu i sokhraneniuyu mirovoy kollektsii yachmenya i ovsa). St. Petersburg: VIR; 2012. [in Russian] (Лоскутов И.Г., Ковалева О.Н., Блинова Е.В. Методические указания по изучению и сохранению мировой коллекции ячменя и овса. Санкт-Петербург: ВИР; 2012).

- Main results of the agricultural microcensus of 2021. Statistical collection (Osnovnye itogi selskohozyaystvennoy mikroperepisi 2021 goda. Statisticheskiy sbornik). Moscow: Federal Service of State Statistics; 2022. [in Russian] (Основные итоги сельскохозяйственной микропереписи 2021 года. Статистический сборник. Москва: Федеральная служба государственной статистики; 2022). URL: https://rosstat.gov.ru/storage/mediabank/Census_agr_2021_final.pdf [дата обращения: 28.09.2023].
- Maltseva L., Filippova E., Bannikova N., Kataeva N. Efficiency of selection in breeding indeces in the contrasting conditions of the Trans-Urals. *Vestnik Bashkir State Agrarian University*. 2020;2(54):32-38. [in Russian] (Мальцева Л.Т., Филиппова Е.А., Банникова Н.Ю., Катаева Н.В. Эффективность отбора по селекционным признакам в контрастных условиях Зауралья. *Вестник Башкирского государственного аграрного университета*. 2020;2(54):32-38). DOI: 10.31563/1684-7628-2020-54-2-32-38
- Manukyan I.R., Basieva M.A., Miroshnikova E.S., Abiev V.B. Usage of a new plant productivity index for evaluation of winter wheat breeding material. *Volga Region Farmland*. 2019;2(2):34-39. DOI: 10.26177/VRF.2019.2.2.009
- Manukyan I.R., Basiyeva M.A., Abiyev V.B. The evalution of the productivity of breeding samples of winter wheat in the conditions of a foothill zone of the Central Caucasus. *Volga Region Farmland*. 2018;4(49):78-83. [in Russian] (Манукян И.Р., Басиева М.А., Абиев В.Б. Оценка продуктивности селекционных образцов озимой пшеницы в условиях предгорной зоны Центрального Кавказа. *Нива Поволжья*. 2018;4(49):78-83).
- Moiseev S.A., Ryabkin E.A., Kargin V.I., Kamalikhin V.E. Influence of sowing dates on the yield structure of spring barley (Vliyaniye srokov seva na strukturu urozhaya yarovogo yachmenya). *Tendentsii razvitiya nauki i obrazovaniya = Trends in the Development of Science and Education*. 2022;(81-1):13-15. [in Russian] (Моисеев С.А., Рябкин Е.А., Каргин В.И., Камалихин В.Е. Влияние сроков сева на структуру урожая ярового ячменя. *Тенденции развития науки и образования*. 2022;(81-1):13-15). DOI: 10.18411/trnio-01-2022-04
- Nazarenko N.N. Rate and spectra of chromosomal aberrations after action of some chemical mutagens. *Tambov University Reports. Series: Natural and Technical Sciences*. 2016;21(5):1897-1901. [in Russian] (Назаренко Н.Н. Частота и спектр хромосомных aberrаций после воздействия некоторыми химическими мутагенами. *Вестник Тамбовского университета. Серия: Естественные и технические науки*. 2016;21(5):1897-1901). DOI: 10.20310/1810-0198-2016-21-5-1897-1901
- Nikolaev P.N., Popolzukhin P.V., Anisimov N.I., Yusova O.A., Safonova I.V. Evaluation of the adaptive properties of spring barley varieties according to their yield capacity in the environments of the Near-Irtysh area in Omsk Province. *Proceedings on Applied Botany, Genetics and Breeding*. 2018;179(2):96-105. [in Russian] (Николаев П.Н., Поползухин П.В., Анисимов Н.И., Юсова О.А., Сафонова И.В. Оценка адаптивных свойств ярового ячменя по урожайности в условиях Омского Прииртышья. *Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции*. 2018;179(2):96-105). DOI: 10.30901/2227-8834-2018-2-96-105
- Pomelov A.V., Dudin G.P. Evaluating mutants of spring barley obtained when treating seeds with fungicides. *Siberian Herald of Agricultural Science*. 2008;6(186):26-31. [in Russian] (Помелов А.В., Дудин Г.П. Оценка мутантов ярового ячменя, полученных при обработке семян фунгицидами. *Сибирский вестник сельскохозяйственной науки*. 2008;6(186):26-31).
- Safonova I.V., Aniskov N.I. Agroecological assessment of winter rye varieties by economic, biological and adaptive indicators. *Perm Agrarian Journal*. 2023;1(41):63-71. [in Russian] (Сафонова И.В., Анисков Н.И. Агроэкологическая оценка сортов озимой ржи по хозяйственно-биологическим и адаптивным показателям. *Пермский аграрный вестник*. 2023;1(41):63-71). DOI: 10.47737/2307-2873_2023_41_63
- Safonova I.V., Aniskov N.I. The importance of a comprehensive assessment of breeding indices and stress resistance parameters of winter rye varieties. *Agrarian Bulletin of the Urals*. 2022;6(221):16-26. [in Russian] (Сафонова И.В., Анисков Н.И. Значимость комплексной оценки селекционных индексов и параметров стрессоустойчивости сортов озимой ржи. *Аграрный вестник Урала*. 2022;6(221):16-26). DOI: 10.32417/1997-4868-2022-221-06-16-26
- Selyaninov G.T. To the methodology of agricultural climatology (K metodike selskohozyaystvennoy klimatografii). *Contributions to Agricultural Meteorology*. 1930;2(22):45-91. [in Russian] (Селянинов Г.Т. К методике сельскохозяйственной климатологии. *Труды по сельскохозяйственной метеорологии*. 1930;2(22):45-91).
- Sidorenko V.S., Naumkin D.V., Kostromicheva V.A., Starikova Zh.V., Uhova F.V. Prospects of selection of the naked barley and oats in the Central Russia. *Legumes and Groat Crops*. 2016;1(17):78-83. [in Russian] (Сидоренко В.С., Наумкин Д.В., Костромичева В.А., Старикова Ж.В., Ухова Ф.В. Перспективы селекции голозерного ячменя и овса в Центральной России. *Зернобобовые и крупные культуры*. 2016;1(17):78-83).
- Tetyannikov N.V., Bome N.A. Studies on mutagenic effect of phosphemide in barley. *Proceedings on Applied Botany Genetics and Breeding*. 2022;183(4):141-151. [in Russian] (Тетяников Н.В., Боме Н.А. Исследование мутагенного эффекта фосфемиды на ячмене. *Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции*. 2022;183(4):141-151). DOI: 10.30901/2227-8834-2022-4-141-151
- Weisfeld L.Y., Bome N.A. Theoretical aspects of chemical mutagens and phenotypic growth activators developed by I.A. Rapoport (A review). *Biosfera. Interdisciplinary Journal of Basic and Applied Sciences*. 2022;14(3):245-253. [in Russian] (Вайсфельд Л.И., Боме Н.А. Теоретические аспекты химических мутагенов и фенотипических активаторов роста растений, разработанные И.А. Рапопортом (обзор литературных источников). *Биосфера. Междисциплинарный научный и прикладной журнал*. 2022;14(3):245-253). DOI: 10.24855/biosfera.v14i3.689
- Yemelyev S.A. Evaluation of the Bios-1 barley variety's mutant form. *Bulletin of Altai State Agricultural University*. 2007;8(34):13-16. [in Russian] (Емелев С.А. Оценка мутантных форм ячменя сорта Биос-1. *Вестник Алтайского государственного аграрного университета*. 2007;8(34):13-16).
- Zenkina K.V., Aseeva T.A. Promising triticale breeding lines for the Far Eastern region. *Far East Agrarian Bulletin*. 2020;1(53):13-19. [in Russian] (Зенкина К.В., Асеева Т.А. Перспективные селекционные линии тритикале для Дальневосточного региона. *Дальневосточный аграрный вестник*. 2020;1(53):13-19). DOI: 10.24411/1999-6837-2020-11002

Информация об авторах

Анна Алексеевна Белозерова, кандидат биологических наук, доцент, Тюменский государственный университет, 625003 Россия, Тюмень, ул. Володарского, 6, anna-bel@bk.ru, <https://orcid.org/0009-0002-3948-5167>

Денис Александрович Базюк, аспирант, младший научный сотрудник, Тюменский государственный университет, 625003 Россия, Тюмень, ул. Володарского, 6, bazjukdenis97@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0001-7676-9260>

Нина Анатольевна Боме, доктор сельскохозяйственных наук, профессор, заведующая кафедрой, Тюменский государственный университет, 625003 Россия, Тюмень, ул. Володарского, 6, bomena@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-5467-6538>

Information about the authors

Anna A. Belozerova, Cand. Sci. (Biology), Associate Professor, University of Tyumen, 6 Volodarskogo St., Tyumen 625003, Russia, anna-bel@bk.ru, <https://orcid.org/0009-0002-3948-5167>

Denis A. Bazyuk, Postgraduate Student, Associate Researcher, University of Tyumen, 6 Volodarskogo St., Tyumen 625003, Russia, bazjukdenis97@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0001-7676-9260>

Nina A. Bome, Dr. Sci. (Agriculture), Professor, Head of a Department, University of Tyumen, 6 Volodarskogo St., Tyumen 625003, Russia, bomena@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-5467-6538>

Вклад авторов: все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.

Contribution of the authors: the authors contributed equally to this article.

Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interests: the authors declare no conflicts of interests.

Статья поступила в редакцию 19.10.2023; одобрена после рецензирования 21.01.2024; принята к публикации 04.03.2024.
The article was submitted on 19.10.2023; approved after reviewing on 21.01.2024; accepted for publication on 04.03.2024.