

КОЛЛЕКЦИИ МИРОВЫХ ГЕНЕТИЧЕСКИХ РЕСУРСОВ КУЛЬТУРНЫХ РАСТЕНИЙ ДЛЯ РАЗВИТИЯ ПРИОРИТЕТНЫХ НАПРАВЛЕНИЙ СЕЛЕКЦИИ

Научная статья
УДК 633.16:631.527
DOI: 10.30901/2227-8834-2024-4-107-117



Исходный материал для селекции голозерного ячменя в Северо-Западном регионе РФ

К. А. Лукина¹, И. Г. Лоскутов^{1,2}, В. И. Хорева¹, О. Н. Ковалева¹

¹ Федеральный исследовательский центр Всероссийский институт генетических ресурсов растений имени Н.И. Вавилова, Санкт-Петербург, Россия

² Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург, Россия

Автор, ответственный за переписку: Ксения Андреевна Лукина, k.lukina@vir.nw.ru

Актуальность. Ячмень (*Hordeum vulgare* L.) – наиболее скороспелая и пластичная зерновая культура с большим разнообразием форм. Внутри культурного вида ячменя выделяют группы пленчатых и голозерных разновидностей. В настоящее время вновь возродился интерес к голозерному ячменю, благодаря свободному отделению цветковых чешуй от зерновки при обмолоте и повышенному содержанию биохимических компонентов. Однако селекционная работа с голозерным ячменем в России еще сильно уступает пленчатому.

Материал и методика. Изучение голозерного ячменя проведено на экспериментальном поле научно-производственной базы «Пушкинские и Павловские лаборатории ВИР» в 2021–2023 гг. В качестве объекта исследования изучали набор из 271 образца двурядного (115 образцов) и многорядного (156 образцов) голозерного ячменя коллекции ВИР различного эколого-географического происхождения по продолжительности вегетационного периода, урожайности и содержанию белка.

Результаты. На основе полевого и лабораторного изучения дана агробиологическая характеристика образцов и выделены источники по отдельным хозяйственно ценным признакам (скороспелость, урожайность, высокое качество зерна) и их комплексу в условиях Северо-Западного региона РФ. Показано разнообразие голозерных форм ячменя различного происхождения по всем изученным признакам.

Заключение. В качестве исходного материала для селекции на скороспелость выделено 12 ультраскороспелых и 53 скороспелых образца, к высокоурожайным отнесено 10 двурядных и 10 шестирядных образцов, 8 двурядных и 15 шестирядных голозерных образцов характеризуются наиболее высоким содержанием белка (более 20%). Для данного набора образцов определены корреляционные связи по изученным показателям. Выделенный исходный материал будет передан в ведущие селекционные центры страны для создания новых сортов с желаемыми признаками.

Ключевые слова: коллекция ВИР, скороспелость, урожайность, содержание белка, селекция

Благодарности: работа выполнена в рамках государственного задания Министерства науки и высшего образования РФ по теме № FGEM-2022-0009 «Структурирование и раскрытие потенциала наследственной изменчивости мировой коллекции зерновых и крупяных культур ВИР для развития оптимизированного генбанка и рационального использования в селекции и растениеводстве».

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

Для цитирования: Лукина К.А., Лоскутов И.Г., Хорева В.И., Ковалева О.Н. Исходный материал для селекции голозерного ячменя в Северо-Западном регионе РФ. *Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции*. 2024;185(4):107-117. DOI: 10.30901/2227-8834-2024-4-107-117

COLLECTIONS OF THE WORLD'S CROP GENETIC RESOURCES FOR THE DEVELOPMENT OF PRIORITY PLANT BREEDING TRENDS

Original article

DOI: 10.30901/2227-8834-2024-4-107-117

Source material for naked barley breeding in the Northwest of the Russian Federation

Kseniia A. Lukina¹, Igor G. Loskutov^{1,2}, Valentina I. Khoreva¹, Olga N. Kovaleva¹

¹ N.I. Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources, St. Petersburg, Russia

² St. Petersburg State University, St. Petersburg, Russia

Corresponding author: Kseniia A. Lukina, k.lukina@vir.nw.ru

Background. Barley (*Hordeum vulgare* L.) is the earliest in maturity and most flexible cereal crop, with a wide variety of forms. There are the groups of covered and naked varieties within the cultivated barley species. The interest in naked barley has currently re-emerged due to easy separation of floral glumes from the kernel during threshing and increased content of biochemical components. However, breeders in Russia are still paying much less attention to naked barleys than they do to covered ones.

Materials and methods. In 2021–2023, 271 naked barley accessions from the VIR collection were studied in the experimental field of Pushkin and Pavlovsk Laboratories of VIR. The set included two-row (115 accessions) and six-row (156 accessions) barleys of various ecogeographic origin. Their growing season duration, yield, and protein content were analyzed.

Results. Field and laboratory studies resulted in making agrobiological descriptions of the accessions and identifying sources of individual agronomic traits (earliness, high yield, and good grain quality) and their combinations under the conditions of the Russian Northwest. The diversity of naked barleys of various origin was shown for all the studied traits.

Conclusion. Twelve ultra-early and 53 early naked barley accessions were selected as potential sources of earliness for breeders. Ten two-row and 10 six-row accessions were identified as high-yielding, while 8 two-row and 15 six-row accessions had the highest protein content (above 20%). Correlations among the studied traits were specified for the studied set of naked barleys. The selected source material will be offered to the leading breeding centers of Russia for the development of new cultivars with desired traits.

Keywords: VIR collection, earliness, yield, protein content, breeding

Acknowledgments: this work was carried out within the framework of the state task assigned by the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation, Topic No. FGEM-2022-0009 “Structuring and disclosing the potential of hereditary variation in the global collection of cereal and groat crops at VIR for the development of an optimized genebank and its sustainable utilization in plant breeding and crop production”.

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

For citation: Lukina K.A., Loskutov I.G., Khoreva V.I., Kovaleva O.N. Source material for naked barley breeding in the Northwest of the Russian Federation. *Proceedings on Applied Botany, Genetics and Breeding*. 2024;185(4):107-117. DOI: 10.30901/2227-8834-2024-4-107-117

Введение

Ячмень (*Hordeum vulgare* L.) является одной из старейших одомашненных культур, которая занимает четвертое место в мире по распространению среди зерновых и широко используется как культура кормового, пищевого и пивоваренного направлений. Внутри культурного вида ячменя выделяют группы пленчатых и голозерных разновидностей (Lukyanova et al., 1990).

В настоящее время вновь возник интерес к голозерному ячменю, в том числе в России. Главной особенностью голозерного ячменя является то, что зерновки не срстаются с цветковыми чешуями и при обмолоте легко отделяются, тем самым облегчая переработку зерна, и не теряют свои питательные компоненты во время обрушивания. Также отмечается, что зерновки голозерного ячменя отличаются повышенным содержанием белка и незаменимых аминокислот (лизина, фенилаланина, метионина и треонина), жиров, β -глюканов и других биохимических компонентов, обладающих антиоксидантной активностью (Tsandekova et al., 2002; Aniskov et al., 2015). Это делает его потенциальным источником для производства диетической ячменной муки и крупы с целью расширения ассортимента функциональных продуктов питания (Liu et al., 2018; Kaur et al., 2019; Lukinac, Jukić, 2022).

Селекция пленчатого ячменя в России, странах Европы и Америки преобладает. Однако сорта голозерного ячменя встречаются во всех зонах возделывания, преимущественно в горных районах. Наиболее он распространен в Юго-Восточной Азии (Китай, Япония, Южная Корея), Северо-Восточной Африке (Эфиопия, Эритрея), в горных районах Центральной и Южной Азии (Памир, Тибет, Таджикистан, Монголия, Непал и Индия) (Lukyanova et al., 1990). В России посевы голозерного ячменя незначительны из-за факторов, ограничивающих его распространение (Tetyannikov, Vome, 2020). В Северо-Западном регионе ячмень является главной зернофуражной культурой и занимает 63% зернового клина (Lapshuk, Vasyaev, 2013), однако полностью представлен пленчатыми сортами.

В РФ работы по селекции голозерного ячменя активно проводятся в Омском аграрном научном центре, Федеральном исследовательском центре Красноярском научном центре СО РАН, филиале Института цитологии и генетики СО РАН, Сибирском федеральном научном центре агроботехнологий РАН. В настоящее время в Государственном реестре селекционных достижений, допущенных к использованию, находится уже восемь сортов голозерного ячменя: 'Омский Голозерный 1' (2004), 'Оскар' (2007), 'Омский Голозерный 2' (2008), 'Нудум 95' (2010), 'Омский Голозерный 4' (2020), 'Ергенинский Голозерный' (2020), 'Дева' (2023), 'Ручей' (2023) (State Register..., 2023). Несмотря на то что в Госреестре начали появляться голозерные сорта, степень проработанности материала по голозерным образцам еще сильно уступает пленчатому ячменю.

На современном этапе развития сельского хозяйства именно сорт является самым эффективным и наиболее доступным средством повышения урожайности и качества зерна, энергосбережения, увеличения рентабельности и конкурентоспособности аграрного производства. Для создания новых сортов сельскохозяйственных растений, обладающих комплексом ценных признаков, высокой урожайностью и высоким качеством продукции в разнообразных условиях среды, требуется хорошо изу-

ченный исходный материал. Коллекция генетических ресурсов ячменя ВИР насчитывает более 1200 голозерных образцов, собранных со всего мира, и представлена местными формами, староместными и современными сортами, а также селекционными линиями. Данные образцы могут стать основным источником исходного материала для создания высокоурожайных сортов голозерного ячменя с ценным комплексом свойств.

Цель данной работы – изучение мирового разнообразия голозерных форм ячменя из коллекции ВИР и выделение исходного материала для селекции сортов ячменя с зерновой продуктивностью и качеством продукции в Северо-Западном регионе РФ.

Материалы и методы

Изучали набор из 271 образца двурядного (115 образцов) и многорядного (156 образцов) голозерного ячменя коллекции ВИР различного эколого-географического происхождения. В состав набора вошли местные формы, генетические линии, староместные и современные сорта. Для сравнительной характеристики основных хозяйственно ценных признаков подобрали 30 современных сортов пленчатого ячменя, районированных в РФ, в том числе два пленчатых стандарта, районированных на Северо-Западе страны: 'Белогорский' (к-22089) и 'Суздалец' (к-30314). Для определения скорости сравнение проводили с сортом 'Potra' (к-26209). В качестве стандартов для голозерных сортов использовали районированные в Сибири сорта 'Омский Голозерный 4' (к-31419) и 'Нудум 95' (к-31125).

Изучение голозерного ячменя проведено в 2021–2023 гг. на экспериментальном поле научно-производственной базы (НПБ) «Пушкинские и Павловские лаборатории ВИР». Почвы опытного поля дерново-подзолистые, легкосуглинистые, легкие по механическому составу, имеют хорошую воздухопроницаемость и низкую влагоемкость. Предшественник ячменя в севообороте – картофель.

Образцы высевали на делянках площадью 1 м². Наблюдение и оценку осуществляли с использованием «Методических указаний по изучению и сохранению мировой коллекции ячменя и овса» (Loskutov et al., 2012). Определяли продолжительность периода вегетации и отдельных фаз вегетации и массу зерна с делянки.

Погодные условия периода вегетации 2021–2023 гг. были разнообразными и отличались от средних многолетних показателей (табл. 1). Так, 2021 г. характеризовался высокой температурой на протяжении всего периода вегетации и засухой, что оказало значительное влияние на высоту растений, формирование зерновок и привело к череззернице колосьев и низкой урожайности. Погодные условия 2022–2023 гг. были благоприятны для роста и развития ячменя и практически мало отличались от средних многолетних.

Биохимический анализ проводили в отделе биохимии и молекулярной биологии ВИР. Определение белка, крахмала выполнено методом измерения спектральных характеристик образцов в ближнем ИК-диапазоне электромагнитного излучения с помощью заводских калибровок на приборе Inframatic 1241 Grain Analyzer, Foss (Швеция).

Определение белка в образцах с черным цветом зерновки проведено по методу Кьельдаля на приборе «Анализатор белка по Кьельдалю» (UDK 159, Velp Scientifica, Италия). Определение крахмала в образцах с черным

Таблица 1. Метеорологическая характеристика периода вегетации (Санкт-Петербург, Пушкин, 2021–2023 гг.)
Table 1. Weather conditions during the growing seasons (Pushkin, St. Petersburg, 2021–2023)

Месяц / Month	Средняя температура воздуха, °C / Mean air temperature, °C			Средняя многолетняя температура воздуха / Long- term mean air temperature	Сумма осадков, мм / Total precipitation, mm			Средняя многолетняя сумма осадков / Long- term mean total precipitation
	2021	2022	2023		2021	2022	2023	
Май / May	12,1	10,0	11,9	11,5	139,4	25,6	16,7	47,0
Июнь / June	21,4	17,6	17,3	16,1	22,1	47,0	47,9	69,0
Июль / July	23,1	19,9	18,5	19,1	50,3	75,5	95,0	84,0
Август / August	16,9	20,6	19,9	17,4	135,1	112,6	48,5	87,0

цветом зерновки осуществлено поляриметрическим методом Эверса с использованием автоматического поляриметра/сахариметра SAC-1 (Япония).

Статистический анализ результатов выполнен с помощью дисперсионного и корреляционного анализов по Б. А. Доспехову с использованием программного продукта STATISTICA 10 (Dospikhov, 2012).

Результаты

Продолжительность вегетационного периода – важное биологическое свойство ячменя, в значительной степени определяющее его продуктивность. Погодные условия 2021–2023 гг. оказывали существенное влияние ($p < 0,05$) на продолжительность вегетационного периода для голозерного ячменя (рис. 1). Продолжительность вегетационного периода в 2021 г. составила 58–88 дней ($CV = 9,4\%$), в 2022 г. – 61–89 дней ($CV = 7,6\%$) и в 2023 г. – 60–112 дней ($CV = 9,7\%$). Продолжительность периода вегетации за три года изучения у образцов голозерного ячменя варьировала от 58 до 112 дней ($CV = 9,9\%$): межфазный период «всходы – колошение» – от 26 до 68 дней ($CV = 12,7\%$), период «колошение – созревание» – от 24 до 58 дней ($CV = 23,5\%$). В 2021 г. в период роста и разви-

тия ячменя наблюдалась сильная засуха, что отразилось на продолжительности вегетации; для некоторых образцов наступило раннее созревание (в среднем на 5–7 дней раньше, чем в 2022–2023 гг.). Однако это позволило выделить наиболее адаптивные по данному признаку сорта, продолжительность вегетационного периода у которых колебалась в пределах 2–3 дней.

В изучаемом наборе голозерного ячменя выделены разные группы спелости. К ультраскороспелым (60–63 дня) относятся 12 образцов, скороспелым (64–66 дней) – 53 образца, раннеспелым (67–72 дня) – 143 образца, среднеспелым (73–78 дней) – 46 образцов, позднеспелым (более 79 дней) – 17 образцов. Среди данного набора голозерного ячменя в условиях Северо-Запада преобладает группа раннеспелых образцов.

Продолжительность вегетационного периода для 30 пленчатых образцов за три года в среднем составила 72 дня ($CV = 9,5\%$): межфазный период «всходы – колошение» – 43 дня ($CV = 12,7\%$), период «колошение – созревание» – 30 дней ($CV = 22,0\%$). Среди пленчатого ячменя преобладала группа раннеспелых и среднеспелых образцов.

Наиболее интересными для Северо-Западного региона являются скороспелые образцы, так как короткий пе-

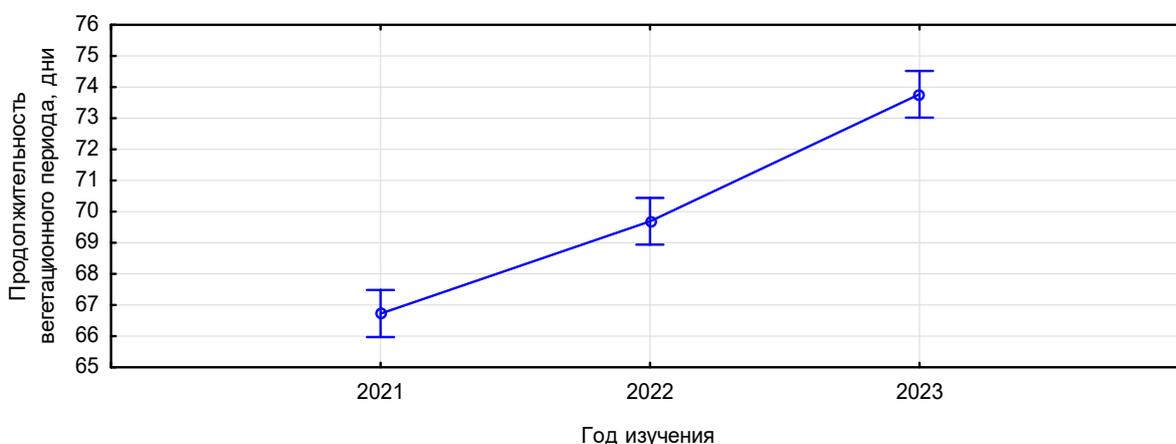


Рис. 1. Изменчивость признака «продолжительность вегетационного периода» у голозерного ячменя в разные года изучения (Санкт-Петербург, Пушкин, 2021–2023 гг.)

Fig. 1. Variability of the growing season duration for naked barley accessions in different years of the study (Pushkin, St. Petersburg, 2021–2023)

риод вегетации позволяет избежать сильного развития заболеваний и воздействия неблагоприятных погодных условий в период уборки. За три года изучения выделено 53 образца с периодом вегетации на уровне скороспелого сорта 'Potra' и 12 ультраскороспелых образцов: 'Shantung' (к-12272, var. *coeleste*) и N1060 (к-15950, var. *coeleste*) из Китая, N 167 (к-11070, var. *coeleste*) и N 995 (к-11073, var. *coeleste*) из Приморского края, 'Кибцел' (Ленинградская обл., var. *coeleste*), 'Гаринский' (к-16885, Свердловская обл., var. *coeleste*), местный (к-9425, Республика Коми, var. *coeleste*), местный (к-28184, Йемен, var. *viride*), EP 79-L 92 (к-28684, Германия, var. *duplialbum*), 'Nec Falla' (к-25862, Италия, var. *coeleste*), Abyssinian 1102 (к-22784, var. *nigrinudum*) и местный (к-25008, var. *dupliatrum*) из Эфиопии. Большая часть ультраскороспелых образцов представлена линиями и староместными сортами.

Однофакторный дисперсионный анализ показал значимое влияние географического происхождения на продолжительность вегетационного периода в условиях Северо-Западного региона РФ ($p < 0,05$). Наиболее скороспелыми показали себя образцы из России, Африки и Передней Азии, а самый длинный вегетационный период наблюдался у образцов из Южной Америки. Рядность колоса значимо не повлияла на фазы и продолжительность вегетационного периода. Дисперсионный анализ главных эффектов показал значимое влияние на продолжительность вегетационного периода ($p < 0,05$) условий среды и генотипа. Наибольший вклад внес фактор

«генотип» (54,1%), доля влияние фактора «среда» составила 17,6%, взаимодействие факторов «генотип × среда» внесло 28,1% от общей вариабельности вегетационного периода, ошибка составила 0,2%.

Зерновая продуктивность – наиболее важное свойство сорта, являющееся целью всего сельскохозяйственного производства. В Северо-Западном регионе РФ главное направление в селекции, от которого будет зависеть перспектива возделывания ячменя, связано, прежде всего, с повышением общего потенциала продуктивности данной культуры в сочетании с укороченным периодом вегетации. Трудность селекции в данном регионе усложняется тем, что здесь лимитированы основные факторы среды: тепло и, в некоторой степени, минеральное питание. Средняя урожайность голозерных образцов в 2021 г. составила 137 г/м² (CV = 54,1%), в 2022 г. – 253 г/м² (CV = 36,8%), в 2023 г. – 233 г/м² (CV = 58,1%). Средняя урожайность у пленчатых образцов в 2021 г. составила 237 г/м² (CV = 52,1%), в 2022 г. – 396 г/м² (CV = 27,9%), в 2023 г. – 453 г/м² (CV = 34,7%).

За три года изучения выделены образцы голозерного ячменя, урожайность которых была на уровне пленчатых стандартов (табл. 2). Наиболее урожайными показали себя шестирядные голозерные образцы преимущественно из России и Азии. Урожайность некоторых образцов не уступает пленчатым районированным сортам, что говорит об их потенциальной возможности стать источниками продуктивности в Северо-Западном регионе.

Таблица 2. Источники голозерного ячменя с высокой урожайностью (Санкт-Петербург, Пушкин, 2021–2023 гг.)

Table 2. Sources of high yield among naked barley accessions (Pushkin, St. Petersburg, 2021–2023)

№ по каталогу ВИР / VIR catalogue No.	Образец / Accession	Происхождение / Origin	Урожайность, г/м ² / Yield, g/m ²	
			Среднее за три года / Mean for three years	Размах варьирования / Range of variation
Шестирядные голозерные				
31419	'Омский Голозерный 4' (st)	Россия, Омская обл.	236	169–287
22089	'Белогорский' (st)	Россия, Ленинградская обл.	407	271–619
3519	'Orge nue petite'	Франция	337*	226–397
31522	'H.C. Hankeye'	Канада	348*	270–481
6099	Местный	Афганистан	370*	312–432
9537	Местный сд-2	Россия, Архангельская обл.	420	251–670
4306	Местный	Россия, Архангельская обл.	437	220–716
3664	'Nackt kleine'	Германия	450	235–636
17948	Местный	Россия, Ленинградская обл.	454	341–648
4736	'Неведомый'	Россия, Кировская обл.	471	282–704
18118	'Пайтовский Голозерный'	Россия, Архангельская обл.	482	281–748
16623	24	Россия, Псковская обл.	483	358–674

Таблица 2. Окончание

Table 2. The end

№ по каталогу ВИР / VIR catalogue No.	Образец / Accession	Происхождение / Origin	Урожайность, г/м ² / Yield, g/m ²	
			Среднее за три года / Mean for three years	Размах варьирования / Range of variation
Двурядные голозерные				
31125	'Нудум 95' (st)	Россия, Челябинская обл.	245	156–327
30314	'Суздалец' (st)	Россия, Московская обл.	322	149–443
22784	Abyssinian 1102	Эфиопия	280*	235–332
26947	CF-115	Франция	329	150–435
30919	'Омский Голозерный 1'	Россия, Омская обл.	339	102–575
31049	'Bear'	США	340*	290–371
16448	'Колхозный 7'	Россия, Ленинградская обл.	341	231–458
20928	'Nackta'	Германия	345	104–467
31520	'Казацкий'	Украина	346	270–430
26742	Beerhadaka	Япония	365	139–494
16535	–	Россия, Ставропольский край	375	238–554
21694	'Голозерный 1'	Россия, Свердловская обл.	377	271–580
НСР _{0,5} / LSD _{0,5}			10,96	

Примечание: * – образцы с повышенной адаптивностью

Note: * – accessions with increased adaptability

Наиболее урожайными оказались образцы скороспелые, раннеспелые и среднеспелые, средняя урожайность которых достигала 206–222 г/м². Позднеспелые и ультраскороспелые образцы в условиях Северо-Запада менее урожайные.

Двухфакторный анализ главных эффектов (генотип и год) показал значимость влияния на урожайность обоих факторов ($p < 0,05$). Наибольший вклад внес фактор «генотип» (46,7%), от условий года зависело 18,9% общей вариабельности урожайности. Показано достоверное различие голозерных и пленчатых образцов (рис. 2). Однако такое сильное различие у пленчатых и голозерных образцов можно объяснить не только по признаку пленчатости, но и тем, что в группу голозерных образцов входило большое количество местных форм и староместных сортов, а в группу пленчатых – современные районированные сорта.

За три года изучения отмечена корреляционная зависимость между группами спелости и урожайностью. Урожайность имеет положительную корреляцию с периодом «всходы – колошение» ($r = 0,63$) и отрицательную с периодом «колошение – созревание» ($r = -0,71$) для группы ультраскороспелых образцов. Для скороспелой группы отмечены такие же корреляционные зависимо-

сти, но менее сильные ($r = 0,31$ и $r = -0,38$). У позднеспелых образцов выявлена корреляция урожайности с периодом «колошение – созревание» ($r = -0,53$) и с продолжительностью вегетационного периода ($r = -0,40$). Для раннеспелых, среднеспелых не отмечено таких зависимостей.

Биохимический состав зерна ячменя может значительно изменяться в зависимости от места выращивания и погодных условий. Совместно с отделом биохимии и молекулярной биологии ВИР изучено содержание белка и крахмала у голозерных образцов ячменя. Содержание белка в 2021 г. варьировало от 13,1 до 24,6% ($CV = 10,8\%$), в 2022 г. – от 9,6 до 23,7% ($CV = 14,2\%$), в 2023 г. – от 11,9 до 23,2% ($CV = 10,9\%$). Содержание крахмала в 2021 г. колебалось от 45,9 до 65,8% ($CV = 6,5\%$), в 2022 г. – от 47,6 до 65,3% ($CV = 6,4\%$), в 2023 г. – от 50,1 до 66,9% ($CV = 4,9\%$). В среднем наибольшее содержание белка отмечено в 2021 г., что, вероятно, связано с повышенной температурой и недостатком влаги в момент налива зерна.

Показано, что достоверное влияние на содержание белка и крахмала оказывают погодные условия, генотип, пленчатость зерна ($p < 0,05$) (рис. 3). У пленчатых образцов содержание белка в 2021 г. варьировало от 12,4 до

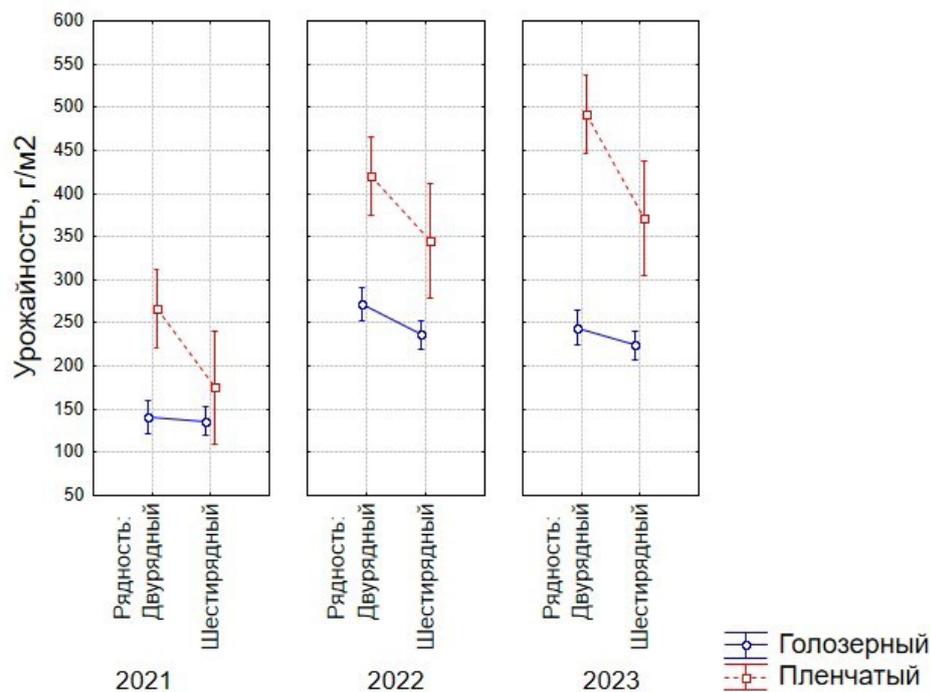


Рис. 2. Изменчивость урожайности двурядного и шестирядного пленчатого и голозерного ячменя в разные года изучения (Санкт-Петербург, Пушкин, 2021–2023 гг.)

Fig. 2. Yield variability in two-row and six-row covered and naked barleys in different years of the study (Pushkin, St. Petersburg, 2021–2023)

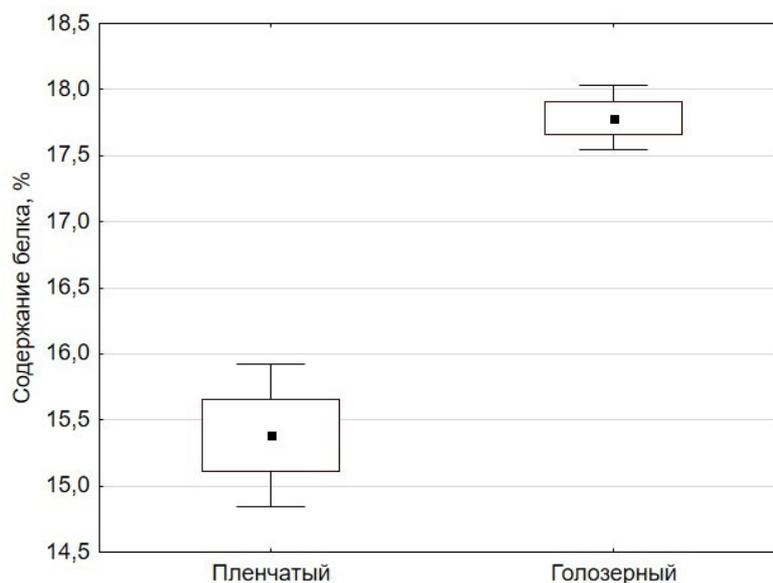


Рис. 3. Изменчивость содержания белка в зерновках пленчатого и голозерного ячменя (Санкт-Петербург, Пушкин, 2021–2023 гг.)

Fig. 3. Variability of protein content in the grain of covered and naked barleys (Pushkin, St. Petersburg, 2021–2023)

18,9% (CV = 9,9%), в 2022 г. – от 12,7 до 18,6% (CV = 10,7%), в 2023 г. – от 13,9 до 18,7% (CV = 9,2%).

Выделены образцы, характеризующиеся наиболее высоким содержанием белка (более 20%) за три года изучения (табл. 3). Высокобелковые образцы относятся преимущественно к шестирядной группе из Азии и могут выступать как источники улучшения качества зерна.

Однофакторный дисперсионный анализ показал, что разные группы спелости не влияют на содержание

белка в зерне голозерного ячменя. Однако для некоторых групп выявлены корреляционные связи. Содержание белка коррелирует с периодом «всходы – колошение» и периодом «колошение – созревание» для скороспелых ($r = -0,49$; $r = 0,38$) и ультраскороспелых ($r = -0,49$; $r = 0,49$) образцов. Также для группы позднеспелых тесная положительная корреляция обнаружена между содержанием белка и периодом «колошение – созревание» ($r = 0,72$), для группы среднеспелых это связь составляет $r = 0,39$. По результатам исследования установлено, что при

создании голозерных сортов ячменя с повышенным содержанием белка необходимо укорачивать период «всходы – колошение» и удлинять период «колошение – созревание».

Образцы с различной окраской зерновки различались по содержанию белка ($p < 0,05$). Наибольшее содержание наблюдается у образцов с черной окраской (рис. 4).

Для создания в условиях Северо-Запада РФ урожайных сортов с высоким качеством зерна необходимо учитывать период вегетации. В работе показано, что

уменьшение продолжительности межфазного периода «всходы – колошение» отрицательно коррелирует с урожайностью и положительно – с содержанием белка. Противоположная ситуация наблюдается для периода «колошение – созревание». Поэтому изучение коллекции голозерных образцов позволит выявить новые источники для селекционных программ. Среди изученного материала голозерного ячменя выделены по комплексу признаков (укороченный вегетационный период, высокая урожайность, повышенное содержание белка) девять образцов (табл. 4).

Таблица 3. Источники голозерного ячменя с высоким содержанием белка
(Санкт-Петербург, Пушкин, 2021–2023 гг.)

Table 3. Sources of high protein content among naked barley accessions (Pushkin, St. Petersburg, 2021–2023)

№ по каталогу VIP / VIR catalogue No.	Образец / Accession	Происхождение / Origin	Разновидность / Variety	Содержание белка, % / Protein content, %	Содержание крахмала, % / Starch content, %
Двурядные голозерные					
5411	‘Белый Голозерный’	Болгария	<i>nudum</i>	20,2 ± 0,7	54,4 ± 2,3
18374	–	Россия, Дагестан	<i>nudum</i>	20,2 ± 0,1	54,7 ± 3,3
18703	‘Jet’	Австралия	<i>nigrinudum</i>	20,3 ± 0,8	50,6 ± 2,3
15029	Местный	Россия, Дагестан	<i>nudum</i>	20,5 ± 0,9	50,8 ± 2,6
17951	Местный	Грузия	<i>nudum</i>	20,6 ± 0,1	52,3 ± 1,8
29719	Ethionia EP 76	Эфиопия	<i>neogenes</i>	20,5 ± 1,5	50,9 ± 0,5
16574	–	Россия, Северная Осетия	<i>nudum</i>	20,9 ± 0,4	51,7 ± 1,0
25816	Select Bifar	США	<i>viride</i>	23,7 ± 0,9	51,2 ± 3,6
Шестирядные голозерные					
19496	‘Marumi’	Япония	<i>revelatum</i>	20,2 ± 0,5	52,9 ± 0,8
11088	‘Shiroseto’	Япония	<i>brevisetum</i>	20,4 ± 1,3	53,9 ± 2,3
25803	‘Orfeo’	Италия	<i>duplinigrum</i>	20,4 ± 1,0	50,2 ± 4,3
28641	S-269	Мексика	<i>coeleste</i>	20,5 ± 0,6	55,9 ± 1,4
11609	–	Япония	<i>nudipyramidatum</i>	21,3 ± 0,6	52,7 ± 0,9
31069	IG 24550	Пакистан	<i>coeleste</i>	20,8 ± 0,1	54,1 ± 3,4
21455	Hotoka N 1	Япония	<i>coeleste</i>	20,9 ± 0,7	53,4 ± 1,7
3038	Местный	Туркменистан	<i>revelatum</i>	21,0 ± 0,3	51,7 ± 1,7
3260	‘Soggia’	Судан	<i>coeleste</i>	21,1 ± 1,4	52,3 ± 3,5
22574	Местный	Монголия	<i>trifurcatum</i>	21,2 ± 0,5	54,0 ± 2,4
18758	Barley Wheat	ЮАР	<i>cornutum</i>	21,3 ± 2,3	52,3 ± 2,2
6094	Местный	Афганистан	<i>coeleste</i>	21,3 ± 1,1	52,8 ± 1,8
14292	Местный	Таджикистан	<i>himalayense</i>	21,4 ± 1,4	51,4 ± 2,0
11087	‘Genpachi’	Япония	<i>revelatum</i>	21,5 ± 1,8	52,8 ± 2,0
20291	‘Nakatehadaka’	Япония	<i>subnudipyramidatum</i>	21,8 ± 1,4	51,0 ± 0,9
HCP _{0,5} / LSD _{0,5}				0,68	1,72

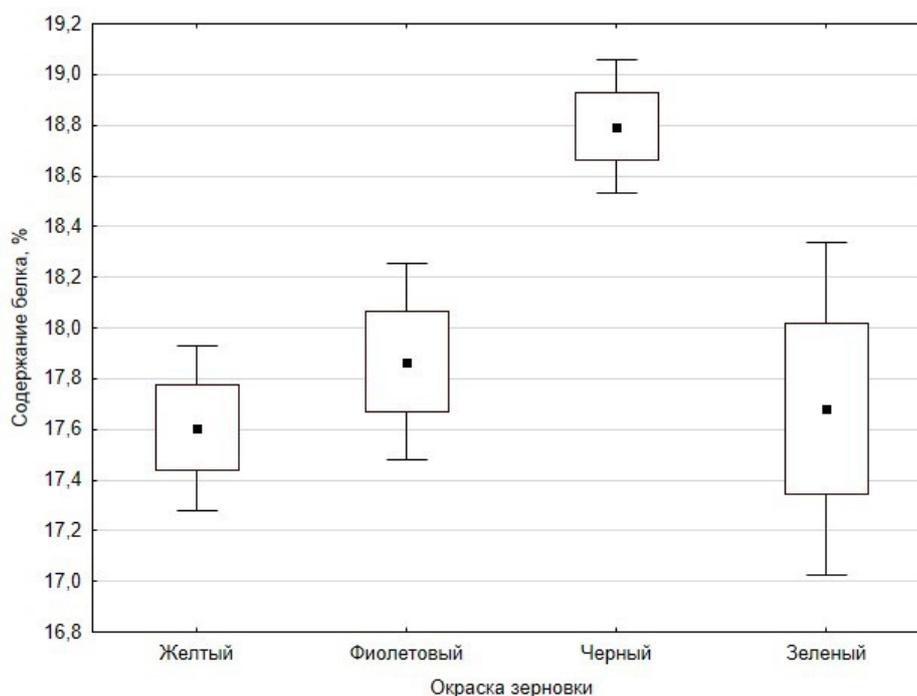


Рис. 4. Изменчивость содержания белка в зерновках голозерного ячменя в зависимости от окраски зерновки (Санкт-Петербург, Пушкин, 2021–2023 гг.)

Fig. 4. Variability of protein content in the grain of naked barley depending on grain color (Pushkin, St. Petersburg, 2021–2023)

Таблица 4. Источники голозерного ячменя по комплексу ценных признаков (Санкт-Петербург, Пушкин, 2021–2023 гг.)

Table 4. Naked barley sources for a set of useful traits (Pushkin, St. Petersburg, 2021–2023)

№ по каталогу ВИР / VIR catalogue No.	Образец / Accession	Происхождение / Origin	Разновидность / Variety	Продолжительность вегетационного периода, дни / Growing season duration, days	Урожайность, г/м ² / Yield, g/m ²	Содержание белка, % / Protein content, %
4526	Местный	Россия, Ивановская обл.	<i>nudum</i>	63,7 ± 1,5	297,7 ± 79,2	18,2 ± 0,2
10573		Индия	<i>nudum</i>	69,0 ± 5,1	293,0 ± 51,0	18,9 ± 0,2
16448	‘Колхозный 7’	Россия, Ленинградская обл.	<i>nudum</i>	63,7 ± 0,9	341,3 ± 65,6	18,4 ± 0,8
16535		Россия, Ставропольский край	<i>nudum</i>	65,7 ± 1,9	375,3 ± 93,5	18,4 ± 0,3
19109	Местный	Индия	<i>nudum</i>	64,7 ± 1,9	304,7 ± 80,5	19,0 ± 0,7
21694	‘Голозерный 1’	Россия, Свердловская обл.	<i>nudum</i>	69,0 ± 3,0	376,7 ± 107,0	17,3 ± 0,7
26742	Beerhadaka	Япония	<i>nudum</i>	73,0 ± 0,6	365,0 ± 113,4	17,4 ± 0,5
30284	‘Namoj’	Австралия	<i>nudum</i>	65,3 ± 1,7	286,0 ± 28,3	18,5 ± 0,4
31228	‘Ахиллес’	Украина	<i>nudum</i>	75,7 ± 5,9	294,3 ± 53,6	17,9 ± 1,0

Заключение

Проведено изучение набора голозерных ячменей из коллекции ВИР различного эколого-географического происхождения в 2021–2023 гг. на полях НПБ «Пушкинские и Павловские лаборатории ВИР». На основе полевого и лабораторного изучения дана агробиологическая характеристика набора и выделены источники по отдельным хозяйственно ценным признакам (скороспелость, урожайность, высокое качество зерна) и их комплекс в условиях Северо-Западного региона РФ.

В качестве исходного материала для селекции на скороспелость выделено 12 ультраскороспелых и 53 скороспелых образца, большая часть из которых представлена линиями, местными формами и староместными сортами. Наиболее скороспелыми показали себя образцы из России, Африки и Передней Азии, а самый длинный вегетационный период наблюдался для образцов из Южной Америки. К высокоурожайным отнесено 10 двурядных и 10 шестирядных голозерных образцов, которые преимущественно относятся к группе скороспелых, ранне-спелых и среднеспелых. Наиболее урожайными показали себя шестирядные голозерные образцы, в основном из России и Азии. Выделено 8 двурядных и 15 шестирядных голозерных образцов, характеризующихся наиболее высоким содержанием белка (более 20%). Высокобелковые образцы относятся главным образом к шестирядной группе из Азии и могут выступать как источники улучшения качества зерна для кормовых и пищевых целей. Также отмечено, что наибольшее содержание белка наблюдается у образцов с черной окраской зерновки. По комплексу всех трех признаков (укороченный вегетационный период, урожайность и повышенное содержание белка) выделено 9 образцов.

Статистическая обработка данных показала достоверное влияние генотипа и среды на все изучаемые признаки. Также выявлены корреляционные связи между урожайностью и межфазными периодами «всходы – колошение» и «колошение – созревание», между содержанием белка и межфазными периодами «всходы – колошение» и «колошение – созревание».

Коллекция голозерного ячменя ВИР является потенциальным источником хозяйственно ценных признаков для селекции и требует дальнейшего изучения. Выделенный исходный материал среди голозерного ячменя может передаваться в ведущие селекционные центры страны для создания новых сортов с желаемыми признаками.

References / Литература

Aniskov N.I., Popolzukhin P.V., Nikolayev P.N., Safonova I.V. Agrobiological value of Omskiy Golozerny 1 and Omskiy Golozerny 2 cultivars of spring barley. *Siberian Herald of Agricultural Science*. 2015;6(247):24-29. [in Russian] (Анисков Н.И., Поползухин П.В., Николаев П.Н., Сафонова И.В. Агробиологическая ценность сортов ярового ячменя Омский голозерный 1 и Омский голозерный 2. *Сибирский вестник сельскохозяйственной науки*. 2015;6(247):24-29).

Dospikhov V.A. Methodology of field trial with fundamentals of statistical processing of research results (Metodika polevogo opyta s osnovami statisticheskoy obrabotki rezultatov issledovaniy). Moscow: Kniga po trebovaniyu;

2012. [in Russian] (Доспехов В.А. Методика полевого опыта с основами статистической обработки результатов исследований. Москва: Книга по требованию; 2012).

- Kaur H., Shaveta S., Kaur S., Sharma V., Kaur K. Hulless barley: a new era of research for food purposes. *Journal of Cereal Research*. 2019;11(2):114-124. DOI: 10.25174/2249-4065/2019/83719
- Lapshuk V.A., Vasyaev G.V. Problems of the grain market in the Northwest region of Russia (Problemy rynka zerna v Severo-Zapadnom regione Rossii). In: *Proceedings of the International Congress "Agrorus" (Materialy Mezhdunarodnogo kongressa "Agrorus")*. St. Petersburg; 2013. p.157-160. [in Russian] (Лапшук В.А., Васяев Г.В. Проблемы рынка зерна в Северо-Западном регионе России. В кн.: *Материалы Международного конгресса «Агрорусь»*. Санкт-Петербург; 2013. С.157-160).
- Liu J., Li Q., Zhang Y., Deng X., Deng G., Tang Y. et al. Nutritional components, textural properties, and *in vitro* starch hydrolysis of steamed hulless barley bread. *Chinese Journal of Applied and Environmental Biology*. 2018;24(5):1073-1080. DOI: 10.19675/j.cnki.1006-687x.2017.09005
- Loskutov I.G., Kovaleva O.N., Blinova E.V. Methodological guidelines for studying and maintaining the global collection of barley and oat. 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).
- Lukinac J., Jukić M. Barley in the production of cereal-based products. *Plants*. 2022;11(24):3519. DOI: 10.3390/plants11243519
- Lukyanova M.V., Trofimovskaya A.Y., Gudkova G.N., Terenteva I.A., Jarosh N.P. Cultivated Flora of the USSR. Vol. 2, Pt 2. Barley (Yachmen). V.D. Kobylansky, M.V. Lukyanova (eds). Leningrad: Agropromizdat; 1990. [in Russian] (Лукьянова М.В., Трофимовская А.Я., Гудкова Г.Н., Терентьева И.А., Ярош Н.П. Культурная флора СССР. Т. 2, ч. 2. Ячмень / под ред. В.Д. Кобылянского, М.В. Лукьяновой. Ленинград: Агропромиздат; 1990).
- State Register for Selection Achievements Admitted for Usage (National List). Vol. 1 "Plant varieties" (official publication). Moscow: Rosinformagrotech; 2023. [in Russian] (Государственный реестр селекционных достижений, допущенных к использованию. Т. 1. «Сорта растений» (официальное издание). Москва: Росинформагротех; 2023). URL: <https://gossortrf.ru/publication/reestry.php> [дата обращения: 25.06.2024].
- Tetyannikov N.V., Bome N.A. Sources of characters useful for breeding in hulless barley. *Proceedings on Applied Botany, Genetics, and Breeding*. 2020;181(3):49-55. [in Russian] (Тетяников Н.В., Боме Н.А. Источники ценных признаков для селекции голозерного ячменя. *Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции*. 2020;181(3):49-55). DOI: 10.30901/2227-8834-2020-3-49-55
- Tsandekova O.L., Neverova O.A., Zaushintsena A.V. Comparative characteristics of some indicators of nutritional value in the grain of early barley (Sravnitel'naya kharakteristika nekotorykh pokazateley pitatelnoy tsennosti zerna skorospelykh yachmeney). *Zernovoye khozyaystvo = Grain Farming*. 2002;(7):18-19. [in Russian] (Цандекова О.Л., Неверова О.А., Заушинцева А.В. Сравнительная характеристика некоторых показателей питательной ценности зерна скороспелых ячменей. *Зерновое хозяйство*. 2002;(7):18-19).

Информация об авторах

Ксения Андреевна Лукина, аспирант, младший научный сотрудник, Федеральный исследовательский центр Всероссийский институт генетических ресурсов растений имени Н.И. Вавилова, 190000 Россия, Санкт-Петербург, ул. Б. Морская, 42, 44, k.lukina@vir.nw.ru, <https://orcid.org/0000-0001-5477-8684>

Игорь Градиславович Лоскутов, доктор биологических наук, доцент, главный научный сотрудник, заведующий отделом, Федеральный исследовательский центр Всероссийский институт генетических ресурсов растений имени Н.И. Вавилова, 190000 Россия, Санкт-Петербург, ул. Б. Морская, 42, 44, профессор, Санкт-Петербургский государственный университет, 199034 Россия, Санкт-Петербург, Университетская наб., 7–9, i.loskutov@vir.nw.ru, <https://orcid.org/0000-0002-9250-7225>

Валентина Ивановна Хорева, кандидат биологических наук, ведущий научный сотрудник, Федеральный исследовательский центр Всероссийский институт генетических ресурсов растений имени Н.И. Вавилова, 190000 Россия, Санкт-Петербург, ул. Б. Морская, 42, 44, horeva43@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-2762-2777>

Ольга Николаевна Ковалева, кандидат биологических наук, ведущий научный сотрудник, Федеральный исследовательский центр Всероссийский институт генетических ресурсов растений имени Н.И. Вавилова, 190000 Россия, Санкт-Петербург, ул. Б. Морская, 42, 44, o.kovaleva@vir.nw.ru, <https://orcid.org/0000-0002-3990-6526>

Information about the authors

Kseniia A. Lukina, Postgraduate Student, Associate Researcher, N.I. Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources, 42, 44 Bolshaya Morskaya Street, St. Petersburg 190000, Russia, k.lukina@vir.nw.ru, <https://orcid.org/0000-0001-5477-8684>

Igor G. Loskutov, Dr. Sci. (Biology), Associate Professor, Chief Researcher, Head of a Department, N.I. Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources, 42, 44 Bolshaya Morskaya Street, St. Petersburg 190000, Russia, Professor, St. Petersburg State University, 7–9 Universitetskaya Emb., St. Petersburg 199034, Russia, i.loskutov@vir.nw.ru, <https://orcid.org/0000-0002-9250-7225>

Valentina I. Khoreva, Cand. Sci. (Biology), Leading Researcher, N.I. Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources, 42, 44 Bolshaya Morskaya Street, St. Petersburg 190000, Russia, horeva43@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-2762-2777>

Olga N. Kovaleva, Cand. Sci. (Biology), Leading Researcher, N.I. Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources, 42, 44 Bolshaya Morskaya Street, St. Petersburg 190000, Russia, o.kovaleva@vir.nw.ru, <https://orcid.org/0000-0002-3990-6526>

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 15.08.2024; одобрена после рецензирования 08.10.2024; принята к публикации 03.12.2024.
The article was submitted on 15.08.2024; approved after reviewing on 08.10.2024; accepted for publication on 03.12.2024.