

DOI: 10.24412/2309-348X-2021-2-15-27

УДК 633.16:631.527

РЕЗУЛЬТАТЫ СЕЛЕКЦИИ ГОЛОЗЁРНОГО ЯЧМЕНЯ В СРЕДНЕМ ПОВОЛЖЬЕ

С.Н. ШЕВЧЕНКО, доктор сельскохозяйственных наук, академик РАН,

ORCID.org/0000-0002-7605-9864, E-mail: samniish@mail.ru

Д.О. ДОЛЖЕНКО, кандидат сельскохозяйственных наук

ORCID.org/0000-0002-2004-329X, E-mail: ddolzhenko75@yandex.ru

И.А. КАЛЯКУЛИНА

САМАРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ЦЕНТР РАН,
САМАРСКИЙ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ СЕЛЬСКОГО
ХОЗЯЙСТВА ИМЕНИ Н.М. ТУЛАЙКОВА – ФИЛИАЛ САМФИЦ РАН

В статье изложены результаты многолетних научных исследований по селекции голозёрного ячменя в Среднем Поволжье. Впервые в регионе ведётся целенаправленная селекция голозёрного ячменя по полной схеме селекционного процесса. Из мировой коллекции выделены голозёрные сортообразцы – источники и доноры отдельных хозяйственно ценных признаков и свойств, в том числе комплекса показателей: к-21694 (Россия, Свердловская обл.), к-28017, к-28076, к-28091 (Мексика), к-29189 (Канада), к-30919 (Россия, Омская обл.). Разработаны основные принципы селекционной работы по совершенствованию культуры голозёрного ячменя. Показана возможность создания голозёрных форм ячменя с достаточным для конкретных почвенно-климатических условий уровнем адаптивности и продуктивности. Создан новый исходный материал для селекции в виде гибридных популяций и селекционных линий. Для использования в селекционных программах по голозёрному ячменю зернофуражного и продовольственного назначения на урожайность и увеличение содержания белка в зерне предложены выделенные линии 813 пид и 19471 пид. На последнем этапе работы создан ряд перспективных сортов ячменя с потенциалом урожайности зерна до 5 т/га и выше, содержанием белка в зерне 15-17%, с высокими показателями массы 1000 зёрен, выравненности и натуры зерна, конкурентоспособных по отношению к плёчатым сортам при возделывании в условиях лесостепной зоны Среднего Поволжья. Определены дальнейшие направления и методические подходы в селекции голозёрного ячменя.

Ключевые слова: ячмень (*Hordeum vulgare* L.), селекция, голозёрность, урожайность зерна, адаптивность, гибридные популяции, селекционные линии.

BREEDING RESULTS OF HULLESS BARLEY IN THE MIDDLE VOLGA REGION

S. N. Shevchenko, ORCID.org/0000-0002-7605-9864, E-mail: samniish@mail.ru

D.O. Dolzhenko, ORCID.org/0000-0002-2004-329X, E-mail: ddolzhenko75@yandex.ru

I. A. Kalyakulina

SAMARA FEDERAL RESEARCH SCIENTIFIC CENTER RAS,
N.M. TULAYKOV RESEARCH INSTITUTE OF AGRICULTURE, SAMARA

Abstract: The paper presents the results of many years of research on the selection of hulless barley in the Middle Volga region. For the first time in the region, purposeful breeding of hulless barley is carried out according to the complete scheme of the breeding process. Sources and donors of several biological and economically valuable traits and properties have been identified from the world collection of hulless barley, including accessions with a set of indicators: k-21694 (Russia, Sverdlovsk region), k-28017, k-28076, k-28091 (Mexico), k-29189 (Canada), k-30919 (Russia,

Omsk region). The basic principles of breeding work to improve the crop of hulless barley have been developed. The possibility of creating hulless barley forms with a sufficient level of adaptability and productivity for specific soil and climatic conditions is shown. A new source material for breeding has been created in the form of hybrid populations and breeding lines. Designed lines '813 nud' and '19471 nud' have been proposed for use in breeding programs for hulless barley for grain fodder and food purposes for the yield and increase in the protein content in the grain. At the last stage of research, a number of promising varieties of barley were created with a grain yield potential of up to 5 t/ha and higher, a protein content in the grain of 15–17%, with a high thousand-kernel weight, test weight and uniformity of grain, which are competitive in relation to hulled varieties during cultivation in the conditions of the forest-steppe zone of the Middle Volga region. Further directions and methodological approaches in the breeding of hulless barley have been established.

Keywords: barley (*Hordeum vulgare* L.), breeding, grain yield, adaptability, hybrid populations, breeding lines.

Введение

Голозёрный ячмень – ценная продовольственная и зернофуражная культура, которая в России до недавнего времени не имела широкого распространения. Исторически голозёрный ячмень у нас самостоятельного значения не имел и встречался обычно в виде примеси в посевах плёнчатых форм, а немногочисленные селекционные сорта были позднеспелыми, полегающими, низкоурожайными и сильно поражались головнёй [1].

В последней четверти XX века в ряде стран Европы, Северной Америке и Австралии были предприняты значительные селекционные усилия по созданию голозёрных сортов ячменя. В Россию эта волна пришла с большим опозданием. В последние годы селекция голозёрного ячменя получает теоретическое обоснование в работах учёных Омского АНЦ [2, 3], Южно-Уральского ГАУ [4]. На европейской территории России селекция его в XX веке велась лишь эпизодически, но в течение нескольких лет появился целый ряд работ по этой теме [5-8]. Селекция голозёрного ячменя систематически ведётся в ФАНЦ «Донской» [9, 10]. В современных условиях в России голозёрные формы приобретают важное значение и имеют селекционную перспективу [11, 12].

Действительно, крупа и хлопья из голого зерна ячменя имеют лучшие вкусовые и потребительские свойства, их производство более экономично. Технология переработки голозёрного ячменя в крупу аналогична таковой для плёнчатого ячменя, но при равном выходе целой крупы с голозёрного ячменя удаляется более тонкий поверхностный слой, образуется меньше дроблёной крупы и побочных продуктов, а также существенно сокращается время шлифования до визуально привлекательного вида [13]. Кроме того, мука из зерна голозёрного ячменя используется как добавка при хлебопечении, разрабатываются и патентуются рецептуры такого хлеба, что разнообразит ассортимент [14, 15].

Однако если бы отличие голозёрного и плёнчатого ячменя заключалось просто в увеличении ассортимента продуктов питания, заниматься его целенаправленной селекцией не стоило. В первую очередь интерес к голозёрному ячменю за рубежом, а теперь и в России, обусловлен возможностью создания сортов для функционального и диетического питания. Это чаще всего связывают с высоким содержанием β -глюкана в зерне голозёрного ячменя [16], хотя в плёнчатом зерне он также присутствует [17]. Некрахмальный полисахарид β -глюкан играет важную роль в связывании холестерина плазмы крови и уменьшении его всасывания, что приводит к снижению риска сердечно-сосудистых заболеваний [18]. В России (в ФАНЦ «Донской») недавно была проведена оценка образцов мировой коллекции и селекционного материала ячменя на содержание β -глюкана в зерне и выявлена значительная вариабельность данного признака [10]. За рубежом активно ведутся исследования по генетике содержания β -глюкана в зерне, обнаружены QTL для данного признака [19, 20].

Работы по созданию самых разнообразных продуктов с функциональными свойствами ведутся как за рубежом [19, 21-23], так и в России [24, 25].

В качестве источника функциональных продуктов рассматриваются также голозёрные

ячмени с окрашенным перикарпом, зерно которых имеет повышенное содержание природных антиоксидантов – флавоноидов и антоцианов [26, 27]. В России также создан подобный сорт – Гранал 32 Челябинской агроинженерной академии [25].

Голозёрный ячмень используется и в кормлении животных, особенно моногастричных и птицы. Установлено, что использование зерна голозёрных сортов в составе кормов увеличивает рентабельность производства мяса цыплят-бройлеров [28, 29], перепелов [30], свиней [31, 32]. В то же время имеются и данные о негативном влиянии голозёрного ячменя в рационе бройлеров на их физиологические параметры и продуктивность [33].

В кормлении животных, особенно жвачных, β -глюкан может быть нежелательным соединением, поскольку он уменьшает эффективность использования корма [34], поэтому при селекции на зернофураж важно снижение его содержания в зерне [17]. В США, кроме того, создан ряд кормовых сортов с низким содержанием другого антипитательного соединения – фитата, препятствующего всасыванию двухвалентных ионов в пищеварительном тракте [35].

В Австралии, США, Канаде ведутся работы по созданию голозёрных пивоваренных сортов, внедрение которых может повысить рентабельность пивоварения (за счёт более высокого уровня экстракции солода, отсутствия необходимости разделять зерно на фракции по крупности) и качество конечного продукта благодаря снижению уровня полифенолов [36, 37]. В Великобритании ведутся поисковые исследования по использованию голозёрного ячменя для производства виски [38].

В Канаде, США, Чехии, Польше, Австралии и ряде других стран уже созданы десятки сортов голозёрного ячменя различного направления использования. Многие из них при выращивании в конкретных почвенно-климатических условиях по урожайности не уступают, а по качеству зерна превосходят традиционные плёчатые сорта.

Первый российский голозёрный сорт ячменя включён в Государственный реестр селекционных достижений лишь в 2004 году, на 2021 год таких сортов уже шесть: Омский голозёрный 1 (2004), Омский голозёрный 2 (2008), Омский голозёрный 4 (2020) селекции Сибирского НИИСХ; Оскар (2007 г., Красноярский НИИСХ), Нудум 95 (2010 г., Институт агроэкологии Челябинского государственного агроинженерного университета), Ергенинский голозёрный (2020, Волгоградский ГАУ). Почти все эти сорта внедряются на территории Сибири и Урала – за исключением сорта Ергенинский голозёрный, допущенного к использованию по Центрально-Черноземному и Нижневолжскому регионам [39].

Мы считаем, что селекция голозёрных сортов ячменя зернофуражного и продовольственного направлений использования для условий европейской части России, и, в частности, для разнообразных условий Среднего Поволжья, является актуальной задачей.

Цель наших исследований – организовать селекционный процесс с культурой голозёрного ячменя по полной схеме, изучить исходный материал для селекции и создать новый метод гибридизации, выделить перспективные селекционные линии и сорта с высокой адаптацией к условиям лесостепной и степной зон Среднего Поволжья, с высоким содержанием белка в зерне и урожайностью на уровне или на 5–10% ниже, чем у плёчатых сортов-стандартов.

Материал и методы исследований

Исследования проводили в период 1999-2020 гг. в Самарском НИИСХ (степная зона) и Пензенском НИИСХ (лесостепная зона). Материалом для исследований служили сортообразцы ярового ячменя мировой коллекции ВИР, гибридные популяции и селекционные линии, созданные в Самарском и Пензенском НИИСХ.

В селекции применяли метод внутривидовой гибридизации (парные и ступенчатые скрещивания). Кастратию материнских форм при гибридизации проводили с подрезкой цветковых чешуй, опыление – твел-методом. Работу с гибридными популяциями вели методом пересева, индивидуальный отбор из гибридных популяций проводили в поколениях F_{2-7} . При необходимости в ценных селекционных линиях проводили повторные отборы. Линейный материал изучали в стандартном селекционном процессе по следующей схеме:

селекционный питомник первого года, селекционный питомник второго года, контрольный питомник, предварительное сортоиспытание, конкурсное сортоиспытание. Закладку опытов, учёты, наблюдения, анализ структуры урожая, статистическую обработку данных проводили по общепринятым методикам [40-42].

Результаты и их обсуждение

На этапе подбора родительских форм для скрещиваний были изучены более 50 голозёрных образцов из мировой коллекции. Для многих из них характерны существенные недостатки – низкая урожайность зерна, позднеспелость, тугорослость, ригидный колос, низкие показатели массы 1000 зёрен, крупности и выравненности зерна. Тем не менее, были выделены источники хозяйственно ценных признаков, перспективные для селекции в разнообразных условиях Среднего Поволжья:

- урожайности зерна на уровне двурядного стандарта – Turper (к-29189, Канада), Омский голозёрный 1 к-30919 (Омская обл.);

- высокой продуктивной кустистости (3,0-3,3) – Scout (к-28965, Канада), CDC Richard (к-30167, Канада), Омский голозёрный 1 (к-30919, Омская обл.), NS GL 1 (к-30956, Югославия);

- большого числа зёрен в колосе – Голозёрный 1 (к-21694, Свердловская обл.), S-257 (к-28017, Мексика), Scout (к-28965, Канада), Turper (к-29189, Канада), Condor (к-30036, Канада), Омский голозёрный 1 (к-30919, Омская обл.);

- высокой массы 1000 зёрен (48–50 г): Голозёрный 1 (к-21694, Свердловская обл.), Омский голозёрный 1 (к-30919, Омская обл.), Nue grosse (к-30250, Швеция);

- высокой продуктивности колоса и растения: Turper (к-29189, Канада), Buck CDC (к-30173, Канада), Омский голозёрный 1 (к-30919, Омская обл.);

- $K_{\text{хоз}}$ растения более 40% – S-257 (к-28017, Мексика), S-303 (к-28076, Мексика), S-322 (к-28091, Мексика), Turper (к-29189, Канада), Голозёрный 1 (к-21694, Свердловская обл.);

- $K_{\text{хоз}}$ колоса более 70% – S-303 (к-28076, Мексика), S-322 (к-28091, Мексика), Turper (к-29189, Канада);

- высокого содержания белка в зерне (более 17%) – Голозёрный 1 (к-21694, Свердловская обл.), Омский голозёрный 1 (к-30919, Омская обл.);

- раннего колошения (на 2–8 дней раньше стандарта) – Makbo (к-5210, Австралия), Namoi (к-30284, Австралия), S-157 (к-28554, Мексика), S-257 (к-28017, Мексика), S-303 (к-28076, Мексика), S-322 (к-28091, Мексика), Karan 4 (к-28958, Индия), Нудум 7566 (к-29453, Кыргызстан), Nue grosse (к-30250, Швеция);

- снижения высоты: Makbo (к-5210, Австралия), Karan 4 (к-28958, Индия), Karan 163 (к-28962, Индия), S-303 (к-28076, Мексика), S-322 (к-28091, Мексика), S-273 (к-28644, Мексика), Condor (к-30036, Канада), NS GL 1 (к-30956, Югославия).

- устойчивости к полеганию: S-257 (к-28017, Мексика), Morell (к-30286, Австралия), Buck CDC (к-30173, Канада).

В полной диаллельной схеме скрещиваний с участием шести плёнчатых и голозёрных сортов, выполненной в 2008–2009 годах, выявили эффективные доноры для селекции на увеличение массы 1000 зёрен (Омский голозёрный 1) и снижение высоты (Condor).

Всего за период с 1999 по 2017 годы было осуществлено 119 новых комбинаций скрещиваний с участием голозёрных форм – как образцов мировой коллекции, так и созданных селекционных линий. Из гибридных популяций было проведено около 13 тысяч индивидуальных отборов.

Полученный линейный материал подвергался сильному давлению отбора. На этапах селекционных питомников выбраковывались голозёрные линии, не отвечающие целям селекции:

- высокорослые (90 см и более) или низкорослые (ниже 60 см в благоприятный год),
- имеющие длинный рыхлый колос,
- имеющие стерильные верхние колоски,
- позднеспелые (с колошением на 5 и более дней позже среднеспелого стандарта),

- с сильным поражением листовыми болезнями,
- тугорослые,
- формирующие мелкое или щуплое зерно,
- с сильно удлинённой формой зерновки.

Как правило, голозёрные формы достоверно уступают плёнчатому стандарту в продуктивности. Однако если принять во внимание, что обычные сорта содержат 10-12% цветочных плёнок, приросших к зерновке, то к голозёрным можно применять пониженные требования. Также из-за отсутствия плёнок для голозёрных форм характерна более низкая масса 1000 зёрен.

Проведённый в 2017–2018 годах в селекционном питомнике первого года анализ показал, что голозёрные и плёнчатые линии, отобранные из расщепляющихся по данному признаку гибридных популяций, имеют различия по урожайности зерна и массе 1000 зёрен (рис. 1).

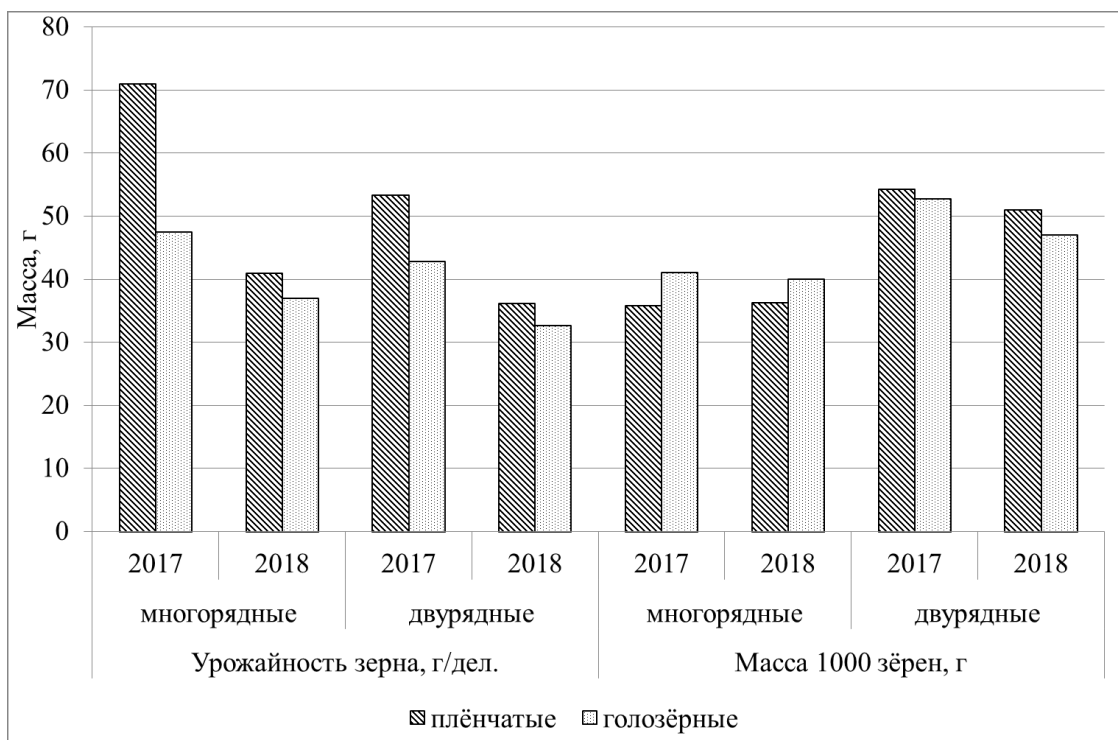


Рис. 1. Сравнение голозёрных и плёнчатых линий ячменя, отобранных в расщепляющихся гибридных популяциях, по урожайности зерна и массе 1000 зёрен в селекционном питомнике 1 года)

Так, по урожайности зерна голозёрные линии уступали плёнчатым в 2017 году на 13,8-54,3% (в среднем – на 26,3%), в 2018 году – на 0,9-15,0% (в среднем 9,6%). При этом данные по двурядным и многорядным популяциям были сходными. Различия в урожайности подтверждены статистически с использованием t-критерия на уровне значимости 0,1-1% в 2017 году и 1-5% – в 2018 году.

Эмпирические данные по массе 1000 зёрен показывают менее однозначную картину. В многорядных популяциях в оба года имели небольшое преимущество (3,7-14,8%) голозёрные линии. Среди двурядных популяций в 2017 году плёнчатые линии в среднем имели более крупное зерно (на 2,7%), однако отдельные популяции с участием сорта Омский голозёрный 1 показали преимущество голозёрных линий по массе 1000 зёрен до 6,6%. В 2018 году голозёрные линии уступили своим сестринским плёнчатым линиям 4,4-24,3% массы зерновки. Тем не менее, все указанные различия по массе 1000 зёрен были статистически недостоверны и косвенно указывают на возможность увеличения массы 1000 зёрен у голозёрных форм.

Низкая масса 1000 зёрен у голозёрных форм сопряжена с пониженной выравненностью зерновой массы и крупности у ряда образцов. У многих голозёрных линий до 25–33% увеличивается доля мелкого зерна (проход через сито с ячейкой 2,2×20 мм), что приводит к снижению выравненности до 55-79%. Во фракционном составе преобладают чаще не сход с сит 2,8×20 и 2,5×20 мм, как у многих плёнчатых форм, а 2,2×20 и 2,5×20 мм, что снижает показатель крупности зерна.

Эта проблема легко решается селекционным путём. Определение выравненности и крупности зерна мы начинаем проводить, начиная с этапа селекционного питомника 2-го года, при этом выбраковываем голозёрные формы, у которых во фракционном составе зерновой массы преобладает проход через сито 2,2×20 мм. В результате у большинства наших перспективных сортов последних лет выравненность составляет от 82 до 92% и определяется как сумма схода с сит с ячейками 2,2×20 и 2,5×20 мм и даже 2,5×20 и 2,8×20 мм, как у двурядных плёнчатых форм.

На натуру зерна отсутствие плёнок оказывает однозначно положительное влияние, голое зерно лучше «упаковывается», поэтому натура голозёрных образцов достигает 720-750 г/л, что на 100 и более граммов выше, чем у плёнчатого ячменя, и сравнимо с натурой зерна, характерной для пшеницы.

Из важных преимуществ ячменя следует отметить относительно высокое содержание белка в зерне голозёрных форм. Теоретически это ожидаемо, поскольку с плёнками уходит 10% низкобелковой части урожая. В наших исследованиях в среднем за ряд лет плёнчатый селекционный материал имел содержание белка в зерне от 10,6 до 16,9%, в среднем 13,1%, тогда как голозёрные – от 13,7 до 17,5%, в среднем 15,1%.

Из существенных недостатков созданных нами голозёрных форм ячменя следует также отметить нестабильность урожаев, меньшую устойчивость к полеганию, сильное поражение твёрдой головнёй, травмирующийся при обмолоте незащищённый зародыш семени, склонность к прорастанию на корню и в валке; наличие в зерновой массе 5-15% невымоловленных из чешуй зерновок, сравнительную позднеспелость.

Некоторые показатели из данного перечня хорошо поддаются селекционному улучшению. Так, тенденцию к большей позднеспелости голозёрных сортов мы преодолеваем как при помощи включения в гибридизацию относительно скороспелых родительских форм типа Безенчукский 2, Нутанс 553 или Анна, так и целенаправленным поиском отрицательных трансгрессий по данному признаку.

Представляется решаемой проблема твёрдой головни. Поражённость некоторых селекционных линий достигала в отдельные годы 20% и более, что отчасти объясняется лёгкостью заsporения семян без оболочек в процессе обмолота, отчасти генотипом сортов. В годы с уровнем поражения твёрдой головнёй 2–3% проявлялась корреляционная связь урожайности с уровнем поражения (например, в 2017 году $r = -0,670 \pm 0,281$, достоверно на 5%-ном уровне значимости). Такой высокий коэффициент корреляции свидетельствует о наличии кроме явного поражения головнёй ещё и скрытых потерь.

В селекционном процессе мы использовали различные источники устойчивости к твёрдой головне, в т.ч. к-30167 CDC Richard и к-30173 Buck CDC, которые, по литературным данным, имеют эффективные гены устойчивости [43]. Полученные селекционные линии слабо поражаются или не поражаются твёрдой головнёй на естественном фоне.

Большую проблему представляет травмирование зародыша при обмолоте, которое приводит к снижению всхожести зерна. По данным, полученным в селекционно-генетическом институте (Одесса), решением является создание голозёрных линий и сортов с овальной и даже округлой формой зерна, у которых зародышевый корешок не сильно выдаётся за периметр зерновки [44]. В наших исследованиях также уделяется внимание данным признакам, однако существенный селекционный эффект пока не достигнут.

Как промежуточный этап исследований, нами были созданы несколько ценных для дальнейшей селекции линий-источников хозяйственно ценных признаков, доведённых до конкурсного сортоиспытания, но не ставших перспективными сортами. Две из них были

переданы в ВИР для включения в коллекцию и распространения по селекционным учреждениям – 813 nud и 19471 nud.

Линия 813 nud. Результат селекционной работы с 2002 по 2013 год. Генеалогия – Безенчукский//Phoenix/Med.36-2. Разновидность – *nudum*. Линия по колошению и созреванию от среднеранней до среднеспелой. Растения высотой в среднем 79 см (при колебаниях по годам 61-89 см). Урожайность 1,00-2,07 т/га (в среднем 1,56 т/га), доля зерна в общей биомассе высокая для голозёрных образцов (до 45%). Зерновка голая, с перикарпом кремовой окраски. Зерно крупное, масса 1000 семян 36,3-55,0 (в среднем 45,8 г), натура зерна очень высокая – до 710 г/л, содержание белка в зерне высокое – до 19,3%. Линия рекомендована для использования в селекционных программах по голозёрному ячменю зернофуражного и продовольственного назначения на урожайность и увеличение содержания белка в зерне.

Линия 19471 nud. Результат селекционной работы с 2003 по 2013 год. Генеалогия – Рубикон/CDC Richard. Разновидность – *nudum*. Линия среднеспелая (до среднепоздней), растения высотой в среднем 76 см (при колебаниях по годам 65-92 см). Урожайность 1,15-1,70 т/га (в среднем 1,40 т/га). Зерновка голая, имеет тёмноокрашенный перикарп. Зерно средней крупности, масса 1000 семян 30,1-45,1 (в среднем 38,4 г), натура зерна очень высокая – до 730 г/л, содержание белка в зерне высокое (16-18%). Растения не поражаются пыльной и твёрдой головнёй. Линия рекомендована для использования в селекции голозёрного ячменя на устойчивость к головнёвым заболеваниям и увеличение содержания белка в зерне.

На настоящем этапе созданы голозёрные линии, которые оцениваются на всех этапах селекционного процесса, от селекционного питомника 1 года до конкурсного сортоиспытания. Данные по урожайности наиболее перспективных сортов представлены в таблице 1.

Голозёрные сорта сравнивали с плёнчатым стандартом Нутанс 553 (Краснокутская селекционно-опытная станция) и голозёрным Омский голозёрный 1 (Сибирский НИИСХ). Сорт Омский голозёрный 1 не районирован в Поволжье, но показывает высокий уровень общей адаптивности к условиям региона исследований. Омский голозёрный 1 послужил донором аллеля голозёрности в сортах 35936 nud и 35973 nud, голозёрность сортов 23311 nud и 42188 nud унаследована от канадского сорта Phoenix.

Обращает на себя внимание вариабельность урожайности голозёрных форм (коэффициент вариации 14,9-21,1%) в сравнении с жаростойким и засухоустойчивым плёнчатым стандартом Нутанс 553 (6,8%) при испытании их в лесостепной зоне Пензенской области.

В условиях 2017 года все плёнчатые сорта превосходили по урожаю стандарт на 0,23-1,15 т/га. ГТК за период вегетации ячменя составил 0,90, осадки (134 мм) выпадали в наиболее важные критические для культуры фазы.

В условиях острой засухи в 2018 году (ГТК 0,37, количество осадков за вегетацию 60 мм) Омский голозёрный 1 и два перспективных сорта сформировали урожайность зерна статистически на уровне плёнчатого стандарта, два сорта существенно уступили ему.

В умеренно засушливом 2019 году (ГТК 0,78, осадков 133 мм) с особенно сухим и жарким периодом «кущение-колошение» все голозёрные сорта достоверно уступили стандарту Нутанс 553 в урожае 0,72-1,16 т/га.

При испытании того же набора голозёрных сортов в условиях степной зоны Самарской области в 2020 году все сорта уступили плёнчатому стандарту сорту Беркут (3,31 т/га) от 0,72 до 1,43 т/га (22-43%). Условия вегетации ячменя были острозасушливыми (ГТК 0,37, осадки – 64 мм). При этом уровень урожайности тесно коррелировал с урожайностью в Пензенской области в 2018 году ($r = 0,96 \pm 0,16$).

Таблица 1

Урожайность зерна перспективных голозёрных сортов ячменя в конкурсном сортоиспытании

Год	Урожайность зерна, т/га						НСР ₀₅ , т/га	Ошибка опыта, %
	Нутанс 553*	Омский голозёрный 1**	23311 nud	35936 nud	35973 nud	42188 nud		
Пензенский НИИСХ								
2017 г.	4,05	4,84	4,42	4,28	4,82	5,2	0,32	3,28
2018 г.	3,82	3,7	3,69	3,29	3,43	3,96	0,25	2,80
2019 г.	4,37	3,61	3,21	3,39	3,65	3,48	0,42	3,96
средняя	4,08	4,05	3,77	3,65	3,97	4,21		
Коэффициент вариации, %	6,8	16,9	16,2	14,9	18,8	21,1		
Самарский НИИСХ								
2020 г.	—	2.13	2.27	1.88	1.97	2.59	0.58	3.74

Примечание: * – плёнчатый стандарт, ** – голозёрный стандарт

В умеренно засушливом 2019 году (ГТК 0,78, осадков 133 мм) с особенно сухим и жарким периодом «кущение-колошение» все голозёрные сорта достоверно уступили стандарту Нутанс 553 в урожае 0,72–1,16 т/га.

При испытании того же набора голозёрных сортов в условиях степной зоны Самарской области в 2020 году все сорта уступили плёнчатому стандарту сорту Беркут (3,31 т/га) от 0,72 до 1,43 т/га (22-43%). Условия вегетации ячменя были острозасушливыми (ГТК 0,37, осадки – 64 мм). При этом уровень урожайности тесно коррелировал с урожайностью в Пензенской области в 2018 году ($r = 0,96 \pm 0,16$).

Все перспективные сорта относятся к среднеспелым по дате наступления фазы колошения (табл. 2). Они среднерослые, устойчивые к полеганию. Наиболее оптимальная высота растений характерна для сорта 42188 nud – около 60 см в засушливые годы, 90 см – в относительно благоприятные.

Все перспективные сорта формировали высокую натуру зерна (в среднем 708-752 г/л в Пензенском НИИСХ, 720-746 г/л – в Самарском НИИСХ). Сорт Омский голозёрный 1 был самым крупнозёрным (масса 1000 зёрен 46,2–51,1 г). Из перспективных сортов наиболее высокий показатель массы 1000 зёрен имел сорт 42188 nud (43,1-45,4 г), у которого также был самый низкий уровень депрессии этого показателя при засухе.

Выравненность зерна перспективных линий была высокой. В 2017 году она превышала 90% на смежных ситах 2,5×20 и 2,2×20 мм, как и у плёнчатого стандарта. В 2018 и 2019 годах выравненность у всех голозёрных сортов была ниже, чем у плёнчатого стандарта, но не опускалась ниже 80%, при этом во фракционном составе преобладал сход с сита 2,2×20 мм, за исключением сорта 42188 nud с преобладающей фракцией 2,5×20 мм.

По содержанию белка в зерне все голозёрные сорта превзошли плёнчатый стандарт на 1,5-4,4%.

Поражение головнёвыми болезнями оценивали на естественном фоне при посеве непротравленными семенами. Все сорта в той или иной степени поражались твёрдой головнёй, наименьшим поражение было у сорта Омский голозёрный 1 и перспективного сорта 42188 nud.

Таблица 2

Хозяйственно-биологическая характеристика перспективных голозёрных сортов ячменя по данным конкурсного сортоиспытания (среднее за 2017–2019 гг.)

Показатели		Нутанс 553	Омский голозёрный 1	23311 nud	35936 nud	35973 nud	42188 nud
Масса 1000 зёрен, г		48,3	48,5	41,8	43,1	43,6	44,5
Натура, г/л		678	679	752	708	730	719
Выравненность, %		93	83	84	86	86	89
Продолжительность периода «всходы–колошение», сут.		42	45	46	44	43	42
Высота растений, см		80	86	84	85	86	73
Устойчивость к полеганию, балл		7,3	8,7	8,0	8,3	8,7	9,0
Продуктивная кустистость		2,9	2,4	2,3	2,2	2,4	2,5
Число зёрен в колосе, шт.		14	18	18	17	19	16
K _{хоз} растения, %		44	42	40	39	42	43
K _{хоз} колоса, %		77	80	79	76	76	81
Содержание белка в зерне, %		13,0	15,3	15,6	17,3	14,5	15,8
Поражение головнёй (максимальное), %	U. nuda	0,14	0,00	0,10	0,00	0,33	0,0
	U. hordei	0,00	0,17	0,38	0,60	0,33	0,03

Перспективный сорт 42188 nud можно считать завершением определённого этапа в селекции голозёрного ячменя в Среднем Поволжье. Сорт обладает комплексом хозяйственно ценных и биологических признаков и свойств: наиболее высокая средняя урожайность (4,21 т/га – на 0,13 т/га или 3,3% ниже плёнчатого стандарта) и реализованная урожайность (5,20 т/га), стабильно высокие показатели массы 1000 зёрен (43-45 г), натуры зерна (705-736 г/л), содержания белка в зерне (15-17%). Сорт среднеспелый (колосится в одно время со стандартом Нутанс 553), с оптимальной высотой растений (60-90 см). Имеет высокие показатели K_{хоз} растения (до 45%) и колоса (до 80%), хороший коэффициент продуктивного кущения (2,3-2,7). Количество зёрен в колосе 15-17, на 2-4 зерна меньше, чем у прочих голозёрных сортов КСИ.

Результаты наших селекционных исследований показывают, что создание голозёрных сортов с уровнем урожайности, приближающимся к лучшим плёнчатым сортам, возможно, несмотря на неоднократно высказываемое мнение [1, 4], что голозёрные ячмени менее адаптивны и продуктивны, чем плёнчатые. Ещё в 1980 годах учёными ВСГИ (Одесса) было показано на генофоне сорта Черноморец, что аллель голозёрности снижает урожайность зерна всего на 6–8%, при этом значительно улучшаются показатели качества зерна [44]. Это согласуется и с результатами анализа британских исследователей, которые предположили, что невысокие агрономические свойства староместных голозёрных ячменей не связаны с голозёрностью как таковой и поддаются селекционному улучшению [45].

В настоящее время вся селекционная работа с голозёрным ячменём в Среднем Поволжье сосредоточена в Самарском НИИСХ, где представлены все этапы селекционного процесса от подбора исходного материала и гибридизации до питомника конкурсного сортоиспытания. Работу проводим с учётом ранее выработанных принципов селекции голозёрного ячменя: скрещивание источников голозёрности с лучшими плёнчатыми формами, жёсткая браковка слабоадаптивных форм, повторные индивидуальные отборы из лучших линий, предпочтение среднеспелых и среднерослых генотипов, давление отбора на массу 1000 зёрен, крупность и выравненность зерна с ранних этапов селекционного процесса.

В методическом плане определены следующие аспекты, на которые будет сделан акцент при селекции ячменя на голозёрность в дальнейшей работе:

- привлечение в гибридизацию голозёрных и плёнчатых источников устойчивости к головнёвым болезням, предуборочному прорастанию;
- поиск форм с зародышем, не выдающимся за пределы семени;
- увеличение количества определяемых показателей качества (твердозёрность, крупяные свойства, содержание в зерне лизина и β -глюканов).

Определены дальнейшие направления селекции:

- дальнейшее повышение адаптивности голозёрных форм ячменя;
- создание полуинтенсивных и высокоинтенсивных сортов для современных технологий возделывания;
- повышение содержания β -глюкана в зерне с целью создания сортов для функционального и диетического питания;
- создание сортов с повышенным уровнем интенсивности.

Заключение

В результате многолетней селекционной работы с голозёрным ячменём в Среднем Поволжье выделены источники отдельных хозяйственно ценных признаков и свойств, а также комплекса показателей: Голозёрный 1 (к-21694, Свердловская обл.), S-257 (к-28017, Мексика), S-303 (к-28076, Мексика), S-322 (к-28091, Мексика), Turper (к-29189, Канада), Омский голозёрный 1 (к-30919, Омская обл.). Выработаны основные принципы работы по совершенствованию культуры голозёрного ячменя – скрещивание источников голозёрности с лучшими плёнчатыми формами, жёсткая браковка слабоадаптивных форм, повторные индивидуальные отборы из лучших линий, предпочтение среднеспелых и среднерослых генотипов, давление отбора на массу 1000 зёрен, крупность и выравненность зерна с ранних этапов селекционного процесса. В результате создан ряд голозёрных перспективных сортов ячменя с потенциалом урожайности зерна до 5 т/га и выше, содержанием белка в зерне 15–17%, с высокими показателями массы 1000 зёрен, выравненности и натуры зерна, конкурентоспособные по отношению к плёнчатым сортам при возделывании в условиях лесостепной зоны Среднего Поволжья. Определены дальнейшие направления и методические подходы в селекции голозёрного ячменя.

Литература

1. Орлов А.А. Ячмени (монография). – М.-Л.: Гос. изд-во колхозной и совхозной лит-ры, – 1935. – 119 с.
2. Николаев П.Н., Юсова О.А., Аниськов Н.И., Сафонова И.В. Агробиологическая характеристика голозерных сортов ячменя селекции Омского АНЦ // Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции. – 2019. – Т. 180. – № 1. – С. 38-43.
3. Николаев П.Н., Юсова О.А. Стрессоустойчивость сортов ярового ячменя омской селекции в условиях Западной Сибири // Таврический вестник аграрной науки. – 2020. – № 4 (24). – С. 135-142.
4. Грязнов А.А. Особенности селекционной работы с голозерным ячменем // Известия высших учебных заведений. Уральский регион. – 2017. – № 2. – С. 103-109.
5. Кунилова А.В. Комбинационная способность коллекционных образцов голозерного ячменя // Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции. – 2013. – Т. 171. – С. 161-163.
6. 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 крупяные культуры. – 2016. № 1 (17). – С. 78-83.
7. Козубовская Г.В. Адаптация голозерных сортов ярового ячменя в условиях сухостепной зоны Нижнего Поволжья // Научно-агрономический журнал. – 2019. – № 2 (105). – С. 36-40.
8. Левакова О.В., Ерошенко Л.М. Высокобелковые сорта и перспективные линии ярового ячменя // Вестник российской сельскохозяйственной науки. – 2019. – № 6. – С. 23-25.
9. Дорошенко Э.С., Филиппов Е.Г., Донцова А.А., Сидоренко В.С. Изучение голозерных сортов ярового ячменя в условиях Северного Кавказа // Зернобобовые и крупяные культуры. – 2019. – № 2 (30). – С. 131-139.
10. Дорошенко Э.С., Филиппов Е.Г., Донцова А.А., Донцов Д.П. Результаты изучения мировой коллекции голозерного ячменя по показателям качества зерна в условиях юга Ростовской области // Зерновое хозяйство России. – 2020. – № 6 (72). – С. 84-94.
11. Баталова Г.А. Зернофуражные культуры России // Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции. – 2013. – Т. 171. – С. 131-135.
12. Железнов А.В., Кукоева Т.В., Железнова Н.Б. Ячмень голозерный: происхождение, распространение и перспективы использования // Вавиловский журнал генетики и селекции. – 2013. – Т. 17. – № 2. – С. 286-297.
13. Николаев П.Н., Юсова О.А., Политуха О.В., Панкратьева И.А., Зверев С.В., Чиркова Л.В., Климова А.Р.

- Характеристика крупяных свойств голозерного ячменя // Аграрная Россия. – 2019. – № 7. – С. 14-17.
14. Летяго Ю.А., Белкина Р.И. Разработка рецептур хлеба с добавлением муки из зерна ячменя и тритикале // Вестник КрасГАУ. – 2019. – № 12 (153). – С. 176-182.
 15. Колмаков Ю.В., Зелова Л.А., Пахотина И.В. Хлеб из композитных мучных смесей // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. – 2015. – № 4 (126). – С. 133-136.
 16. Rey J.I. Breeding food barley: from agronomic assessment to marker assisted selection: A thesis ...for the degree of Master of Science. – 2008. – 64 p.
 17. Hang A., Obert D., Gironella A.I.N., Burton C.S. Barley amylose and β -glucan: their relationships to protein, agronomic traits, and environmental factors // Crop Sci. – Vol.47. – 2007. – P.1754–1760.
 18. Behall K.M., Hallfrisch J.G. Effects of barley consumption on CDV risk factors // Cereal Food World. – 2006. – Vol.51. – No.1. – P.12–15.
 19. Collar C., Angioloni A. Nutritional and functional performance of high β -glucan barley flours in breadmaking: mixed breads versus wheat breads. // Eur. Food Res.Technol. – 2014. – Vol. 238. – pp. 459–469.
 20. Molina-Cano J.L., Moralejo M., Elía M. et al. QTL analysis of a cross between European and North American malting barleys reveals a putative candidate gene for β -glucan content on chromosome 1H // Mol. Breeding. 2007. – Vol. 19. – pp. 275–284.
 21. Abdel-Haleem A.M.H., Awad R.A. Some quality attributes of low fat ice cream substituted with hulless barley flour and barley β -glucan // J. Food Sci. Technol. – 2015. – Vol. 52. – pp. 6425–6434.
 22. Narwal S., Kumar D., Sheoran S. et al. Hulless barley as a promising source to improve the nutritional quality of wheat products // J. Food Sci. Technol. – 2017. – Vol. 54. – pp. 2638–2644.
 23. Messia M.C., Oriente M., Angelicola M., De Arcangelis E., Marconi E. Development of functional couscous enriched in barley β -glucans // Journal of Cereal Science. – 2019. – Vol.85. – pp. 137-142.
 24. Янова М.А., Иванова Т.С. Разработка технологии экструзионного продукта из голозерного ячменя // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. – 2014. – № 1 (111). – С. 119-123.
 25. Грязнов А.А., Бессонов В.В. Пигментированный ячмень как компонент в рецептуре кондитерских изделий // Научная жизнь. – 2013. – № 1. – С. 35-38.
 26. Yao X., Wu K., Yao Y. et al. Construction of a high-density genetic map: genotyping by sequencing (GBS) to map purple seed coat color (Psc) in hulless barley // Hereditas. – 2018. – Vol. 155. – Article number 37. – <https://doi.org/10.1186/s41065-018-0072-6>
 27. Lin Sh., Guo H., Gong J.D.B. et al. Phenolic profiles, β -glucan contents, and antioxidant capacities of colored Qingke (Tibetan hulless barley) cultivars // Journal of Cereal Science. – 2018. – Vol. 81. – pp. 69-75.
 28. Грязнов А.А., Романова О.В. Эффективность использования зерна ячменя голозерного сорта Нудум 95 в кормлении цыплят-бройлеров // Кормление сельскохозяйственных животных и кормопроизводство. – 2019. – № 11. – С. 24-33.
 29. Амиранашвили Е.И., Чаунина Е.А., Мезенцев И.И., Мезенцев М.И., Мезенцева Ю.А. Нетрадиционные кормовые ингредиенты в комбикормах для бройлеров // Вестник Омского государственного аграрного университета. – 2019. – № 4 (36). – С. 111-119.
 30. Шпынова С.А., Ядрищенская О.А., Селина Т.В., Басова Е.А. Голозерный ячмень в комбикормах для перепелов // Кормление сельскохозяйственных животных и кормопроизводство. – 2020. – № 6. – С. 38-43.
 31. Кононенко С.И. Использование голозерного ячменя при выращивании молодняка свиней // Сб. науч. тр. Ставропольского НИИ животноводства и кормопроизводства. – 2014. – Т. 3. – № 7. – С. 422-426.
 32. Татаркина Н.И. Продуктивная ценность рационов при выращивании молодняка свиней // Кормление сельскохозяйственных животных и кормопроизводство. – 2018. – № 10. – С. 29-33.
 33. Sharifi S.D., Shariatmadari F., Yaghobfar A. Effects of Inclusion of Hull-less Barley and Enzyme Supplementation of Broiler Diets on Growth Performance, Nutrient Digestion and Dietary Metabolisable Energy Content // Journal of Central European Agriculture. – 2012. – Vol. 13, No. 1. – pp.193-207.
 34. MacGregor A.W., Fincher G.B. Carbohydrates of the barley grain // Barley: Chemistry and technology. – St. Paul, MN, 1993. – P.74–130.
 35. Bregitzer P., Raboy V., Obert D.E. et al. Registration of 'Clearwater' low-phytate hulless spring barley // J. of Plant Reg. – 2008. – Vol.2. – No.1. – P.1–4.
 36. Edney M.J., Langrell D.E. Evaluating the malting quality of Hulless CDC Dawn, acid-dehusked Harrington, and Harrington barley // J. Am.Soc.Brew.Chem. – 2004. – Vol.62. – No.1. – P.18–22.
 37. Box A. Progress of the SA hulless barley improvement program // Barley Newsletter. – V.43. – 1999. – Точка доступа: <https://wheat.pw.usda.gov/ggpages/BarleyNewsletter/43/Box.html>
 38. Agu R.C., Bringham T.A., Brosnan J.M., Pearson S. Potential of Hull-less Barley Malt for Use in Malt and Grain Whisky Production // J. Inst. Brew. – 2009. – Vol. 115, No. 2. – pp. 128–133.
 39. Государственный реестр селекционных достижений, допущенных к использованию. Т.1. «Сорта растений» (официальное издание). – М.: ФГБНУ «Росинформагротех», 2021. – 719 с.
 40. Доспехов Б.А. Методика полевого опыта. – М., 1985. – 351 с.
 41. Методика государственного сортоиспытания сельскохозяйственных культур: Зерновые, крупяные, зернобобовые, кукуруза и кормовые культуры. / Под ред. М.А. Федина. – М., 1989. – 194 с.
 42. Методические указания ВИР по изучению мировой коллекции ячменя и овса. – Л., 1987. – 48 с.

43. Исачкова О. А., Логинова А. О., Пакуль В. Н. Устойчивость к *Ustilago hordei* (Pers) Kell. et Sw. образцов голозерного ячменя. // Международный научно-исследовательский журнал. – 2019. – № 12-2 (90). – С. 137–140.
44. Кирдогло Е.К., Полищук С.С., Червонис М.В. Методология и результаты селекции ячменя пищевого использования. // Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции. – 2013. – Т. 171. – С. 240-253.
45. Dickin, E., Steele, K., Edwards-Jones, G. et al. Agronomic diversity of naked barley (*Hordeum vulgare* L.): a potential resource for breeding new food barley for Europe. // *Euphytica*. – 2012. – Vol. 184. – pp. 85–99.

References

1. Orlov A.A. Yachmeni (monografiya) [Barleys (monograph)]. Moscow, Leningrad, 1935. 119 p. (In Russian)
2. Nikolaev P.N., Yusova O.A., Anis'kov N.I., Safonova I.V. Agrobiologicheskaya kharakteristika golozernykh sortov yachmenya seleksii Omskogo ANTS [Agrobiological characteristics of naked barley varieties of the Omsk ASRC selection]. *Trudy po prikladnoi botanike, genetike i seleksii*, 2019. V. 180, no 1, pp. 38-43. (In Russian)
3. Nikolaev P.N., Yusova O.A. Stressoustoichivost' sortov yarovogo yachmenya omskoi seleksii v usloviyakh Zapadnoi Sibiri [Stress resistance of spring barley varieties of Omsk selection in the conditions of Western Siberia]. *Tavrisheskii vestnik agrarnoi nauki*, 2020, no. 4 (24), pp. 135-142. (In Russian)
4. Gryaznov A.A. Osobennosti selektsionnoi raboty s golozernym yachmenem [Features of breeding work with naked barley]. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenii. Ural'skii region*, 2017, no. 2, pp. 103-109. (In Russian)
5. Kuniлова A.V. Kombinatsionnaya sposobnost' kolleksiionnykh obraztsov golozernogo yachmenya [Combination ability of collection samples of naked barley]. *Trudy po prikladnoi botanike, genetike i seleksii*, 2013, V. 171, pp. 161-163. (In Russian)
6. Sidorenko V.S., Naumkin D.V., Kostromicheva V.A., Starikova Zh.V., Ukhova F.V. Perspektivy seleksii golozernogo yachmenya i ovsa v tsentral'noi Rossii [Prospects for breeding naked barley and oats in central Russia]. *Zernobobovye i krupyanye kul'tury*, 2016, no. 1 (17), pp. 78-83. (In Russian)
7. Kozubovskaya G.V. Adaptatsiya golozernykh sortov yarovogo yachmenya v usloviyakh sukhostepnoi zony Nizhnego Povolzh'ya [Adaptation of naked varieties of spring barley in the dry steppe zone of the Lower Volga region]. *Nauchno-agronomicheskii zhurnal*, 2019, no. 2(105), pp. 36-40. (In Russian)
8. Levakova O.V., Eroshenko L.M. Vysokobelkovye sorta i perspektivnye linii yarovogo yachmenya [High-protein varieties and promising lines of spring barley]. *Vestnik rossiiskoi sel'skokhozyaistvennoi nauki*, 2019, no. 6, pp. 23-25. (In Russian)
9. Doroshenko E.H.S., Filippov E.G., Dontsova A.A., Sidorenko V.S. Izuchenie golozernykh sortov yarovogo yachmenya v usloviyakh Severnogo Kavkaza [Study of naked varieties of spring barley in the conditions of the North Caucasus] *Zernobobovye i krupyanye kul'tury*, 2019. no. 2(30). pp. 131-139. (In Russian)
10. Doroshenko E.H.S., Filippov E.G., Dontsova A.A., Dontsov D.P. Rezul'taty izucheniya mirovoi kolleksii golozernogo yachmenya po pokazatelyam kachestva zerna v usloviyakh yuga Rostovskoi oblasti [Results of the study of the world collection of naked barley in terms of grain quality in the south of the Rostov region]. *Zernovoe khozyaistvo Rossii*, 2020, no. 6 (72), pp. 84-94. (In Russian)
11. Batalova G.A. Zernofurazhnye kul'tury Rossii [Grain fodder crops of Russia]. *Trudy po prikladnoi botanike, genetike i seleksii*, 2013, V. 171, pp. 131-135. (In Russian)
12. Zheleznov A.V., Kukoeva T.V., Zheleznova N.B. Yachmen' golozernyi: proiskhozhdenie, rasprostranenie i perspektivy ispol'zovaniya [Hull-grain barley: origin, distribution and prospects of use]. *Vavilovskii zhurnal genetiki i seleksii*, 2013, V. 17, no 2, pp. 286-297. (In Russian)
13. Nikolaev P.N., Yusova O.A., Politukha O.V., Pankrat'eva I.A., Zverev S.V., Chirkova L.V., Klimova A.R. Kharakteristika krupyanykh svoistv golozernogo yachmenya [Characteristics of the cereal properties of naked barley]. *Agrarnaya Rossiya*, 2019, no. 7, pp. 14-17. (In Russian)
14. Letyago Yu.A., Belkina R.I. Razrabotka retseptur khleba s dobavleniem muki iz zerna yachmenya i tritcale [Development of bread recipes with the addition of flour from barley grain and tritcale]. *Vestnik KraSgau*, 2019, № 12 (153), pp. 176-182. (In Russian)
15. Kolmakov Yu.V., Zelova L.A., Pakhotina I.V. Khleb iz kompozitnykh muchnykh smesei [Bread from composite flour mixtures]. *Vestnik Altaiskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*, 2015, no 4 (126), pp. 133-136. (In Russian)
16. Rey J.I. Breeding food barley: from agronomic assessment to marker assisted selection: A thesis ...for the degree of Master of Science, 2008, 64 p.
17. Hang A., Obert D., Gironella A.I.N., Burton C.S. Barley amylose and β -glucan: their relationships to protein, agronomic traits, and environmental factors. *Crop Sci.*, 2007, V.47, pp.1754-1760.
18. Behall K.M., Hallfrisch J.G. Effects of barley consumption on CDV risk factors. *Cereal Food World*, 2006, V.51, no.1, pp.12-15.
19. Collar C., Angioloni A. Nutritional and functional performance of high β -glucan barley flours in breadmaking: mixed breads versus wheat breads. *Eur. Food Res.Technol*, 2014, v. 238, pp. 459-469.
20. Molina-Cano J.L., Moralejo M., Elía M. et al. QTL analysis of a cross between European and North American malting barleys reveals a putative candidate gene for β -glucan content on chromosome 1H. *Mol. Breeding*, 2007, V. 19, pp. 275-284.
21. Abdel-Haleem A.M.H., Awad R.A. Some quality attributes of low fat ice cream substituted with hullless barley flour and barley β -glucan. *J. Food Sci. Technol*, 2015, V. 52, pp. 6425-6434.

22. Narwal S., Kumar D., Sheoran S. et al. Hullless barley as a promising source to improve the nutritional quality of wheat products. *J. Food Sci. Technol.*, 2017, V. 54, pp. 2638-2644.
23. Messina M.C., Oriente M., Angelicola M., De Arcangelis E., Marconi E. Development of functional couscous enriched in barley β -glucans. *Journal of Cereal Science*, 2019, V.85, pp. 137-142.
24. Yanova M.A., Ivanova T.S. Razrabotka tekhnologii ehkstruzionnogo produkta iz golozernogo yachmenya [Development of technology of extrusion product from naked barley]. *Vestnik Altaiskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*, 2014, no 1 (111), pp. 119-123. (In Russian)
25. Gryaznov A.A., Bessonov V.V. Pigmentirovannyi yachmen' kak komponent v retsepture konditerskikh izdelii [Pigmented barley as a component in confectionery recipes]. *Nauchnaya zhizn'*, 2013, no 1, pp. 35-38. (In Russian)
26. Yao X., Wu K., Yao Y. et al. Construction of a high-density genetic map: genotyping by sequencing (GBS) to map purple seed coat color (Psc) in hullless barley. *Hereditas*, 2018, V. 155, Article number 37. <https://doi.org/10.1186/s41065-018-0072-6>
27. Lin Sh., Guo H., Gong J.D.B. et al. Phenolic profiles, β -glucan contents, and antioxidant capacities of colored Qingke (Tibetan hullless barley) cultivars. *Journal of Cereal Science*, 2018, V. 81, pp. 69-75.
28. Gryaznov A.A., Romanova O.V. Ehffektivnost' ispol'zovaniya zerna yachmenya golozernogo sorta nudum 95 v kormlenii tsyplyat-broilerov [Efficiency of using naked barley grain of nudum 95 variety in feeding broiler chickens]. *Kormlenie sel'skokhozyaistvennykh zhivotnykh i kormoproizvodstvo*, 2019, no 11, pp. 24-33. (In Russian)
29. Amiranashvili E.I., Chaunina E.A., Mezentshev I.I., Mezentshev M.I., Mezentsheva YU.A. Netraditsionnye kormovye ingredienty v kombikormakh dlya broilerov [Non-traditional feed ingredients in mixed feed for broilers]. *Vestnik Omskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*, 2019, no. 4 (36), pp. 111-119. (In Russian)
30. Shpynova S.A., Yadrishchenskaya O.A., Selina T.V., Basova E.A. Golozernyi yachmen' v kombikormakh dlya perepelov [Naked barley in compound feed for quail]. *Kormlenie sel'skokhozyaistvennykh zhivotnykh i kormoproizvodstvo*, 2020, no. 6, pp. 38-43. (In Russian)
31. Kononenko S.I. Ispol'zovanie golozernogo yachmenya pri vyrashchivanii molodnyaka svinei [The use of naked barley in the cultivation of young pigs]. *Sb. nauch. tr. Stavropol'skogo NII zhivotnovodstva i kormoproizvodstva*, 2014, v. 3, no 7, pp. 422-426. (In Russian)
32. Tatarkina N.I. Produktivnaya tsennost' ratsionov pri vyrashchivanii molodnyaka svinei [The productive value of rations when growing young pigs]. *Kormlenie sel'skokhozyaistvennykh zhivotnykh i kormoproizvodstvo*, 2018, no. 10, pp. 29-33. (In Russian)
33. Sharifi S.D., Shariatmadari F., Yaghobfar A. Effects of Inclusion of Hull-less Barley and Enzyme Supplementation of Broiler Diets on Growth Performance, Nutrient Digestion and Dietary Metabolisable Energy Content. *Journal of Central European Agriculture*, 2012, v. 13, no. 1, pp.193-207.
34. MacGregor A.W., Fincher G.B. Carbohydrates of the barley grain. *Barley: Chemistry and technology*. St. Paul, MN, 1993, pp.74-130.
35. Bregitzer P., Raboy V., Obert D.E. et al. Registration of 'Clearwater' low-phytate hullless spring barley. *J. of Plant Reg.*, 2008, v.2, no.1, pp.1-4.
36. Edney M.J., Langrell D.E. Evaluating the malting quality of Hullless CDC Dawn, acid-dehusked Harrington, and Harrington barley. *J. Am.Soc.Brew.Chem.*, 2004, v.62, no.1, pp.18-22.
37. Box A. Progress of the SA hullless barley improvement program. *Barley Newsletter*, 1999, v.43. Access point: <https://wheat.pw.usda.gov/ggpages/BarleyNewsletter/43/Box.html>
38. Agu R.C., Bringham T.A., Brosnan J.M., Pearson S. Potential of Hull-less Barley Malt for Use in Malt and Grain Whisky Production. *J. Inst. Brew.*, 2009, v. 115, no. 2, pp. 128-133.
39. Gosudarstvennyi reestr selektsionnykh dostizhenii, dopushchennykh k ispol'zovaniyu. T.1. «Sorta rastenii» (ofitsial'noe izdanie) [State Register of Breeding Achievements Approved for Use. Vol. 1. "Plant Varieties" (official publication)]. *Moscow, FGBNU «RosinformagroteKH»*, 2021, 719 p. (In Russian)
40. Dospekhov B.A. Metodika polevogo opyta [Field experiment technique]. *Moscow*, 1985, 351 p. (In Russian)
41. M.A. Fedin (ed.) Metodika gosudarstvennogo sortoispytaniya sel'skokhozyaistvennykh kul'tur: Zernovye, krupyanye, zernobobovye, kukuruza i kormovye kul'tury [Methodology for state variety testing of agricultural crops: Cereals, cereals, legumes, corn and fodder crops]. *Moscow*, 1989, 194 p. (In Russian)
42. Metodicheskie ukazaniya VIR po izucheniyu mirovoi kolleksii yachmenya i ovsa [VIR methodological guidelines for the study of the world collection of barley and oats]. *Leningrad*, 1987, 48 p. (In Russian)
43. Isachkova O. A., Loginova A. O., Pakul' V. N. Ustoichivost' k Ustilago hordei (Pers) Kell. et Sw. obraztsov golozernogo yachmenya [Resistance to Ustilago hordei (Pers) Kell. et Sw. samples of naked barley]. *Mezhdunarodnyi nauchno-issledovatel'skii zhurnal*, 2019, no. 12-2(90), pp. 137-140. (In Russian)
44. Kirdoglo E.K., Polishchuk S.S., Chervonin M.V. Metodologiya i rezul'taty selektsii yachmenya pishchevogo ispol'zovaniya [Methodology and results of selection of barley for food use]. *Trudy po prikladnoi botanike, genetike i selektsii*, 2013, v. 171, pp. 240-253. (In Russian)
45. Dickin, E., Steele, K., Edwards-Jones, G. et al. Agronomic diversity of naked barley (*Hordeum vulgare* L.): a potential resource for breeding new food barley for Europe. *Euphytica*, 2012, v. 184, pp. 85-99.