



Адаптивность высокобелковых генотипов ячменя в условиях Волго-Вятского региона

И. Ю. Зайцева, И. Н. Щенникова, Л. В. Панихина, Е. В. Дягилева

Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока им. Н.В. Рудницкого, Киров, Россия

Автор, ответственный за переписку: Ирина Юрьевна Зайцева, irina-zajceva30@rambler.ru

Актуальность. Зерно ячменя – уникальное сырье многопланового использования. В Волго-Вятском регионе более 60% произведенного зерна идет непосредственно на кормовые цели. Одной из актуальных задач является создание высокоурожайных сортов с высоким качеством зерна с целью уменьшения дефицита белка в кормах для сельскохозяйственных животных и удовлетворения ежегодно увеличивающихся потребностей в фуражном зерне. Для ее успешного решения необходим поиск и вовлечение в селекционный процесс новых высокоурожайных и высокобелковых исходных генотипов, адаптивных к условиям Волго-Вятского региона.

Материалы и методы. Экспериментальная работа проводилась в 2018–2020 гг. в Федеральном аграрном научном центре Северо-Востока им. Н.В. Рудницкого (г. Киров). Оценивали содержание белка в зерне, урожайность, устойчивость к полеганию и продолжительность вегетационного периода 31 коллекционного образца. Изучение коллекции проводилось в соответствии с Международным классификатором СЭВ рода *Hordeum* L. и Методическими указаниями по изучению мировой коллекции ячменя и овса. Содержание белка определяли с помощью экспресс-анализатора универсального назначения INFRAMATIC 8620.

Результаты и выводы. Установлена высокая корреляционная зависимость содержания белка в зерне от гидротермического коэффициента в межфазный период «колошение – созревание» ($r = 0,85$), суммы эффективных температур за вегетационный период ($r = 0,75$), количества осадков за период «всходы – созревание» ($r = 0,67$). Селекционно ценными признаками (урожайность, устойчивость к полеганию, экологическая пластичность, стабильность) выделялись образцы: к-30574 ('Filippa', Швеция), к-30256 ('Rodos', Польша), я-52 ('Crusades', Великобритания), к-35415 (NCL 95098, Аргентина), к-30892 ('Наран', Россия), к-15619 ('Полярный 14', Россия), я-4 (752А, Швейцария), к-30349 (Landrace, Перу), к-5983 (Местный, Афганистан), к-3506 (Местный, Индия), к-2929 (Местный, Китай), к-2930 (Местный, Китай), к-5210 ('Makbo', Австралия).

Ключевые слова: урожайность, гидротермический коэффициент, стабильность, пластичность, вегетационный период, устойчивость к полеганию, содержание белка

Благодарности: работа выполнена в рамках государственного задания по теме № 0767-2019-0093.

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

Для цитирования: Зайцева И.Ю., Щенникова И.Н., Панихина Л.В., Дягилева Е.В. Адаптивность высокобелковых генотипов ячменя в условиях Волго-Вятского региона. *Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции*. 2022;183(4):30-38. DOI: 10.30901/2227-8834-2022-4-30-38

Original article

DOI: 10.30901/2227-8834-2022-4-30-38

Adaptability of high-protein barley genotypes under the conditions of the Volga-Vyatka region

Irina Yu. Zaytseva, Irina N. Shchennikova, Liubov V. Panikhina, Elena V. Dyagileva

*Federal Agricultural Research Center of the North-East named N.V. Rudnitsky, Kirov, Russia***Corresponding author:** Irina Yu. Zaytseva, irina-zajiceva30@rambler.ru

Background. Barley grain is unique raw material of versatile uses. More than 60% of the grain produced in the Volga-Vyatka region goes directly to fodder production purposes. One of the urgent tasks is to develop high-yielding cultivars with good grain quality, thus reducing protein deficiency in farm animal feeds and meeting the need for fodder grain that increases every year. Its successful solution requires a search for new high-yielding and high-protein source genotypes adapted to the conditions of the Volga-Vyatka region and their involvement in the breeding process.

Materials and methods. Experimental work was carried out in 2018–2020 at the Federal Agricultural Research Center of the North-East named N.V. Rudnitsky, Kirov. Protein content in grain, yield, resistance to lodging, and duration of the growing season of 31 barley accessions were assessed. The barley collection was studied according to the International COMECON List of Descriptors for the Genus *Hordeum* L. and Methodological Guidelines. Protein content was measured using a universal rapid analyzer (INFRAMATIC 8620).

Results and conclusions. Protein content had a strong correlation with Selyaninov's hydrothermal coefficient in the inter-phase period from ear emergence to maturity ($r = 0.85$); the sum of effective temperatures during the entire growing season ($r = 0.75$); and precipitation in the period from seedling emergence to maturity ($r = 0.67$). Traits of breeding value (yield, lodging resistance, environmental plasticity, and stability) were observed in the following accessions: k-30574 ('Filippa', Sweden), k-30256 ('Rodos', Poland), ya-52 ('Crusades', Great Britain), k-35415 (NCL 95098, Argentina), k-30892 ('Naran', Russia), k-15619 ('Polyarny 14', Russia), ya-4 (752A, Switzerland), k-30349 (Landrace, Peru), k-5983 (Local, Afghanistan), k-3506 (Local, India), k-2929 (Local, China), k-2930 (Local, China), and k-5210 ('Makbo', Australia).

Keywords: yield, hydrothermal coefficient, stability, plasticity, growing season, lodging resistance, correlation

Acknowledgements: the work was carried out within the framework of the state task, Theme No. 0767-2019-0093.

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

For citation: Zaytseva I.Yu., Shchennikova I.N., Panikhina L.V., Dyagileva E.V. Adaptability of high-protein barley genotypes under the conditions of the Volga-Vyatka region. *Proceedings on Applied Botany, Genetics and Breeding*. 2022;183(4):30-38. DOI: 10.30901/2227-8834-2022-4-30-38

Введение

Зерно ячменя – уникальное сырье многопланового использования; оно применяется в сельском хозяйстве в качестве фуража, в пищевой промышленности для производства круп и пива, а также в текстильной промышленности (Shulepova et al., 2017; Yusova, Nikolayev, 2016).

Большинство сортов, выращиваемых в Волго-Вятском регионе, имеют зернофуражное назначение. На кормовые цели, в основном для приготовления комбикормов, используется более 60% фуражного зерна (Shchenpikova et al., 2018). Это объясняется сочетанием высокой питательной ценности зерна с большим количеством полезных веществ и витаминов, входящих в его состав (Shulepova et al., 2021). Кроме того, зерно ячменя имеет первостепенное значение для насыщения рационов одним из наиболее важных питательных компонентов – растительным белком (Nikolaev et al., 2018; Guo et al., 2019). Зерно ячменя содержит от 8 до 30% белка. Белок синтезируется в эндосперме и алейроновом слое во время развития зерна с максимальным его накоплением на стадии созревания (Yu et al., 2017; Jaeger et al., 2021).

На содержание белка в зерне ячменя влияют как экологические, так и генетические факторы (Hagenblad et al., 2022). Одним из способов решения проблем, связанных с дефицитом белка в кормах для сельскохозяйственных животных, является создание продуктивных сортов с высоким качеством зерна, устойчивых к действию абиотических и биотических стрессоров (Shchenpikova et al., 2018; Zyuba, 2012). Успех создания таких сортов зависит от правильного подбора родительских форм при гибридизации.

Для выявления генотипов, адаптивных к почвенно-климатическим условиям региона, проводят оценку пластичности и стабильности показателей, характеризующих количество и качество получаемой растениеводческой продукции (Kosolapova, Shmorgunov, 2017). Это направление селекции ориентировано на создание сортов, отличающихся повышенной пластичностью, высокой и стабильной урожайностью, а также низкими энерго- и ресурсозатратами. В основных мировых зернопроизводящих странах растениеводство направлено на получение не максимальной, а оптимальной, но стабильной по годам урожайности зерна (Filipov et al., 2018; Sintsova et al., 2018). В связи с этим задача – изучение и выявление нового исходного материала для селекции адаптивных к условиям Волго-Вятского региона сортов ярового ячменя, сочетающих высокую и стабильную урожайность с хорошим качеством зерна, – является особенно актуальной.

Материал и методика

Экспериментальная работа проводилась в 2018–2020 гг. в Федеральном аграрном научном центре Северо-Востока им. Н.В. Рудницкого (ФАНЦ Северо-Востока, г. Киров). Объектом исследований являлся 31 коллекционный образец ярового ячменя, предоставленный Федеральным исследовательским центром Всероссийским институтом генетических ресурсов растений имени Н.И. Вавилова (ВИР) (в тексте «к» – каталог ВИР) и другими аграрными научными центрами («я» – каталог ФАНЦ Северо-Востока).

Изучение коллекции проводили в соответствии с Международным классификатором СЭВ (Lekeš et al.,

1983) и Методическими указаниями по изучению мировой коллекции ячменя и овса (Loskutov et al., 2012). Исследования в полевых условиях проводили на делянках площадью 2,7 м² в трехкратной повторности. Полевые опыты были заложены на дерново-подзолистой, средне-суглинистой, сформированной на элювии пермских глин почве с содержанием гумуса 2,27%, pH солевой вытяжки – 5,6. Предшественником был чистый пар. Фоном весной под культивацию вносили минеральные удобрения (нитроаммофоска NPK 16:16:16, АО «ОХК «УРАЛХИМ»). Проведена оценка образцов по продолжительности вегетационного периода и устойчивости к полеганию.

В лабораторных условиях выполнен анализ элементов структуры урожайности и анализ качества зерна (содержание белка) с применением экспресс-анализатора универсального назначения INFRAMATIC 8620 (Pertent Instruments, Sweden). В качестве стандарта использовался сорт ячменя 'Белгородский 100' (st.).

Для оценки уровня влагообеспеченности использовали гидротермический коэффициент (ГТК) Г. Т. Селянинова.

Метеорологические условия вегетационного периода в годы исследований различались как по температурному режиму, так и количеству осадков. В 2018 г. из-за частых дождей и низких температур складывались неблагоприятные условия (ГТК = 1,65), 2019 г. с температурой воздуха в пределах климатической нормы и дефицитом осадков характеризовался как умеренно-влажный (ГТК = 1,37). В 2020 г. вегетация растений началась на 3–17 дней раньше средних многолетних сроков, в течение лета было сухо, с незначительными осадками (ГТК = 1,56) (табл. 1). Таким образом, различающиеся в годы исследований метеорологические условия способствовали разносторонней оценке исходного материала.

Для вычисления параметров экологической пластичности (bi), стабильности (σ^2) и индекса условий окружающей среды (Ij) использовали методику, разработанную S. A. Eberhart, W. A. Russel в редакции В. А. Зыкина с соавторами (Zykin et al., 2011).

Статистическая обработка данных проводилась согласно методике Б. А. Доспехова (Dospikhov, 1985) с использованием компьютерных программ AGROS 2.07 и Microsoft Office.

Результаты и обсуждение

Одним из основных показателей качества зерна ячменя, используемого для приготовления кормов, является содержание белка, которое сильно варьирует в зависимости от сортовых особенностей (генотип) и условий репродукции (климатические факторы, агротехника). При высоких температурах, низкой влажности и богатой азотом почве количество белка увеличивается, а при относительно низких температурах, избыточной влажности и недостатке азотного питания – уменьшается (Mergalimov et al., 2016; Jaeger et al., 2021).

В научных публикациях приведены разнящиеся данные о зависимости содержания белка в зерне от условий тепло- и влагообеспеченности отдельных фаз вегетации и периода развития растений в целом. Так, согласно проведенному исследователями (Yusova et al., 2015) анализу сопряженности основных показателей качества пивоваренного зерна с условиями окружающей среды, повышенное содержание белка в зерне наблюдается в условиях дефицита осадков. Аналогичные выводы сделаны и другими авторами (Glukhovtsev, Drovaleva, 2011; Pryan-

Таблица 1. Метеорологические показатели, г. Киров**Table 1. Meteorological indicators, Kirov**

Показатель / Indicator	2018	2019	2020
ГТК в межфазный период «колошение – созревание» / Hydrothermal coefficient in the interphase period from ear emergence to maturity	1,66	0,93	2,19
ГТК за весь период вегетации / Hydrothermal coefficient for the entire growing season	1,65	1,37	1,56
Сумма эффективных температур в межфазный период «колошение – созревание», °С / The sum of effective temperatures in the interphase period from ear emergence to maturity, °C	683,5	672,7	772,5
Количество осадков в межфазный период «колошение – созревание», мм / Precipitation in the interphase period from ear emergence to maturity, mm	113,4	62,7	169,0
Сумма эффективных температур за весь период вегетации, °С / The sum of effective temperatures for the entire growing season, °C	1152,4	1210,0	1246,3
Количество осадков за весь период вегетации, мм / Precipitation for the entire growing season, mm	190,1	165,4	194,5

dun, 2013). В то же время в работе Д. В. Дубовика и О. Г. Чуяна (Dubovik, Chuyan, 2018) наименьшее количество белка зафиксировано в слабоувлажненные годы. В исследовании Ю. П. Прядуна (Pryadun, 2013) выявлена отрицательная корреляционная зависимость между содержанием белка и осадками во все фазы развития ячменя, кроме межфазного периода «колошение – молочная спелость», когда между этими показателями прослеживалась положительная взаимосвязь. По данным Л. М. Ерошенко и др. (Yeroshenko et al., 2020), увеличение ГТК в межфазный период «колошение – налив зерна» привело к снижению количества белка в зерне ($r = -0,53$), а во время налива и созревания зерна содержание белка в зерне возрастало с повышением гидротермического коэффициента ($r = 0,21-0,66$). Также этими авторами сделан вывод о снижении белка в зерне с ростом ГТК ($r = -0,51...-0,56$) в межфазный период «кущение – колошение».

В результате наших исследований выявлено, что количество белка в зерновке изменялось в зависимости от метеорологических условий года. Так, установлена высокая корреляция содержания белка со следующими показателями: гидротермический коэффициент в межфазный период «колошение – созревание» ($r = 0,85$), сумма

эффективных температур ($r = 0,75$) и количество осадков ($r = 0,67$) за период «всходы – созревание». Наблюдалась очень высокая зависимость количества белка от суммы эффективных температур ($r = 0,99$) и количества осадков ($r = 0,99$) в межфазный период «колошение – созревание».

С помощью регрессионного анализа установлено, что накопление белка в зерне зависит от суммы эффективных температур и количества осадков за весь вегетационный период на 56,7% ($R^2 = 0,567$) и 44,3% ($R^2 = 0,443$) соответственно, а от суммы эффективных температур и количества осадков в межфазный период «колошение – созревание» – на 99,9% ($R^2 = 0,999$) и 82,4% ($R^2 = 0,824$) соответственно.

Содержание белка в зерне изменялось по годам от 13,1 до 14,5% (CV = 5,9%), по сортам от 10,5 до 17,4% (CV = 11,5%). Так, в 2018 г. при индексе условий окружающей среды (Ij), равном 0,37, диапазон изменчивости белка по сортам составлял от 10,5 до 16,8% (CV = 12,7%), в 2019 г. (Ij = -0,56) – от 10,9 до 15,9% (CV = 10,7%). Наиболее благоприятные условия накопления белка в зерне сложились в 2020 г. (Ij = 0,93), когда его содержание варьировало у образцов от 12,6 до 17,4% (CV = 8,3%), при среднем значении $14,5 \pm 0,2\%$ (рисунок).

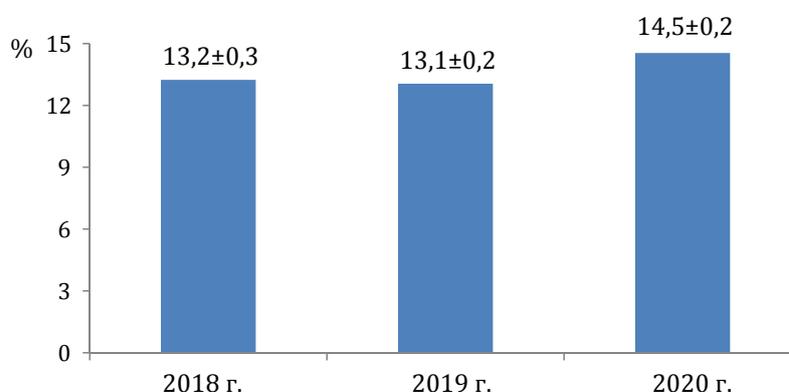


Рисунок. Средние значения содержания белка в зерне коллекционных образцов ячменя (ФАНЦ Северо-Востока, г. Киров, 2018–2020 гг.)

Figure. Mean values of protein content in the grain of barley accessions (Federal Agricultural Research Center of the North-East, Kirov, 2018–2020)

За период исследований наибольшее содержание белка во все годы изучения отмечалось у генотипов к-30349 (Landrace, Перу), к-2929 (Местный, Китай), к-2930 (Местный, Китай) и к-5210 ('Макбо', Австралия). Достоверно превысили стандарт по содержанию белка в зерне образцы я-52 ('Crusades', Великобритания), я-4 (752А, Швейцария), к-30574 ('Filippa', Швеция), к-35415 (NCL 95098, Аргентина), к-30349 (Landrace, Перу), к-5983 (Местный, Афганистан), к-3506 (Местный, Индия), к-2929 (Местный, Китай), к-2930 (Местный, Китай), к-5210 ('Макбо', Австралия), к-30256 ('Rodos', Польша), к-15619 ('Полярный 14', Россия) и к-30892 ('Наран', Россия) (табл. 2).

Подбор исходного материала для селекции в условиях Волго-Вятского региона необходимо осуществлять не ограничиваясь количественной оценкой содержания белка в зерне, но и принимая во внимание приспособленность генотипа к условиям конкретного региона возделывания. Только высокая адаптивность высокобелковых сортов может обеспечить стабильно высокое содержание белка в зерне при неблагоприятных метеорологических условиях.

Селекционную ценность представляют образцы интенсивного типа, которые имеют показатель экологической пластичности (b_i) значительно выше единицы и хорошо отзываются на улучшение условий выращивания.

Таблица 2. Содержание белка, показатели экологической пластичности и стабильности коллекционных образцов ячменя (ФАНЦ Северо-Востока, г. Киров, 2018–2020 гг.)

Table 2. Protein content, and indicators of environmental plasticity and stability in barley accessions (Federal Agricultural Research Center of the North-East, Kirov, 2018–2020)

Номер каталога / Catalogue No.	Образец / Accession	Содержание белка, % Protein content, %				b_i	σ_d^2
		2018	2019	2020	ср. / Mean		
я-201*	Белгородский 100, st. / Belgorodsky 100, ref.	11,9	10,9	13,9	12,2	1,89	0,195
к-30806**	Новичок / Novichok	11,2	12,8	14,7	12,9	1,83	1,177
я-207	Бионик / Bionic	12,9	12,8	13,5	13,1	0,48	0,001
я-52	Crusades	13,6	14,6	15,9	14,7	1,17	0,719
к-30375	Cooper	11,8	12,5	16,7	13,7	3,16	0,938
к-19798	Sultan	11,9	12,8	13,1	12,6	0,45	0,496
к-30873	Mentor	13,5	12,7	13,7	13,3	0,46	0,249
к-30468	Orthega	12,3	12,3	12,6	12,4	0,22	0,006
к-30888	Danuta	13,0	12,0	14,1	13,0	1,24	0,305
я-4	752 А	15,4	13,5	14,6	14,5	0,25	1,796
к-30574	Filippa	13,6	12,9	15,5	14,0	1,61	0,075
к-21957	Bonita	12,8	11,3	14,2	12,8	1,61	0,712
к-35425	NCL 95098	13,9	14,6	14,4	14,3	0,01	0,235
к-30349	Landrace	15,4	14,6	16,8	15,6	1,35	0,125
к-31053	Нахбу	11,6	11,8	14,6	12,7	2,00	0,149
к-5983	Местный / Local	14,9	14,9	14,0	14,6	-0,65	0,006
к-3506	Местный / Local	15,7	14,6	14,2	14,8	-0,62	0,733
к-2929	Местный / Local	15,8	14,7	14,2	16,0	1,60	0,298
к-2930	Местный / Local	16,8	15,9	15,9	16,2	-0,24	0,465
к-5210	Макбо	16,4	15,8	15,3	15,8	-0,54	0,321
к-29010	Одесский 115 / Odessky 115	11,7	12,3	13,8	12,6	1,18	0,377
к-30379	Mie	11,9	12,1	13,3	12,4	0,92	0,078
к-29917	Сябра / Syabra	12,3	11,5	14,9	12,9	2,17	0,075

Таблица 2. Окончание
Table 2. The end

Номер каталога / Catalogue No.	Образец / Accession	Содержание белка, % Protein content, %				bi	σd^2
		2018	2019	2020	ср. / Mean		
к-30256	Rodos	13,1	12,1	15,9	13,7	2,43	0,139
к-15619	Полярный 14 / Polyarny 14	13,9	14,9	15,8	14,9	0,96	0,704
к-30892	Наран / Naran	13,9	13,4	13,9	13,7	0,24	0,114
к-30926	Казьминский / Kazminsky	13,8	13,0	14,1	13,6	0,59	0,218
к-31046	Щедрый / Shchedry	12,5	11,8	13,2	12,5	0,80	0,109
я-181	Адам / Adam	10,9	12,5	12,8	12,1	0,64	1,545
я-270	Куфаль / Kufal	11,6	11,7	13,9	12,4	1,58	0,062
я-356	Рейдер / Reyder	10,5	11,2	14,1	12,0	2,25	0,649
HCP₀₅ / LSD₀₅		-	-	-	1,5	-	-

Примечание * – номер каталога ФАНЦ Северо-Востока; ** – номер по каталогу ВИР; st. – сорт-стандарт

Note: * – FARC North-East Catalogue No.; ** – VIR Catalogue No.; ref. – reference cultivar

Увеличением содержания белка в зерне при благоприятных для роста и развития растений ячменя условиях характеризовались образцы я-201 ('Белгородский 100', Россия), к-30806 ('Новичок', Россия), я-52 ('Crusades', Великобритания), к-30375 ('Cooper', Великобритания), к-30889 ('Danuta', Германия), к-30574 ('Filippa', Швеция), к-21957 ('Bonita', Аргентина), к-30349 (Landrace, Перу), к-31053 ('Нахбу', США), к-2929 (Местный, Китай), к-29010 ('Одесский 115', Украина), к-29917 ('Сябра', Белоруссия), к-30256 ('Rodos', Польша), я-356 ('Рейдер', Белоруссия), я-270 ('Куфаль', Белоруссия). Максимальное в опыте содержание белка в зерне ячменя сформировалось в благоприятном 2020 г.: так, у образца к-2929 (Местный, Китай) оно достигало 17,4%, к-30349 (Landrace, Перу) – 16,8%, я-52 ('Crusades', Великобритания), к-30256 ('Rodos', Польша) – 15,9%, к-30574 ('Filippa', Швеция) – 15,5%.

Образцы, коэффициент регрессии (b) у которых значительно ниже единицы (близкий к нулю), относятся к нейтральному типу. Они слабо отзываются на изменение условий среды: незначительно снижают содержание белка в экстремальных условиях и слабо реагируют на интенсификацию земледелия. Практически не изменялось содержание белка в зерне во все годы изучения у образцов я-207 ('Бионик', Россия), к-19789 ('Sultan', Нидерланды), к-30873 ('Mentor', Дания), к-30468 ('Orthegea', Германия), я-4 (752А, Швейцария), к-35415 (NCL 95098, Аргентина), к-5983 (Местный, Афганистан), к-3506 (Местный, Индия), к-2930 (Местный, Китай), к-5210 ('Макбо', Австралия), к-30892 ('Наран', Россия), к-30926 ('Казьминский', Россия), я-181 ('Адам', Белоруссия). Стабильно высоким содержанием белка в зерне по годам отличались образцы к-5983 (Местный, Афганистан) – 14,9; 14,9 и 14,0% и к-30892 ('Наран', Россия) – 13,5; 13,4 и 13,9% соответственно.

При коэффициенте пластичности, равном или близком к единице (bi = 1) (высокая экологическая пластичность), изменение показателей у сорта соответствует

изменению условий среды. К этому типу (bi = 1) относились образцы к-15619 ('Полярный 14', Россия), к-30379 ('Мie', Эстония), к-31046 ('Щедрый', Россия). Высоким содержанием белка отличался к-15619 ('Полярный 14', Россия).

Стабильно высоким содержанием белка в зерне ($\sigma d^2 \rightarrow 0$) в условиях Волго-Вятского региона характеризовались образцы к-30574 ('Filippa', Швеция) и к-5983 (Местный, Афганистан).

Большое значение для выбора исходного материала для дальнейшей селекционной работы имеет оценка коллекционных образцов по таким признакам, как урожайность, продолжительность вегетационного периода и устойчивость к полеганию. У высокобелковых генотипов отмечалось значительное варьирование (CV = 23,7%) урожайности – от 255 до 465 г/м². Высокой урожайностью на уровне стандарта характеризовались образцы к-30574 ('Filippa', Швеция) и к-30256 ('Rodos', Польша) (табл. 3).

По продолжительности вегетационного периода коллекционные образцы различались незначительно (CV = 2,1%), в среднем за годы оценки продолжительность межфазного периода «всходы – созревание» составляла от 72 до 77 дней. Все высокобелковые образцы были отнесены к группе среднеспелых.

Устойчивость к полеганию у генотипов с высоким содержанием белка в зерне варьировала от 5,1 до 9,0 баллов (CV = 22,2%). Устойчивостью выше 8,5 баллов обладали образцы я-52 (Crusades, Великобритания), к-30574 ('Filippa', Швеция), к-35415 (NCL 95098, Аргентина), к-30256 ('Rodos', Польша) и к-30892 ('Наран', Россия).

Заключение

В результате проведенных исследований установлено, что в условиях Волго-Вятского региона содержание белка в зерне зависит от гидротермического коэффици-

Таблица 3. Характеристика высокобелковых коллекционных образцов ячменя
(ФАНЦ Северо-Востока, г. Киров, 2018–2020 гг.)

Table 3. Characteristics of high-protein barley accessions
(Federal Agricultural Research Center of the North-East, Kirov, 2018–2020)

Номер каталога / Catalogue No.	Образец / Accession	Урожайность, г/м ² / Yield, g/m ²	Продолжительность вегетационного периода, дни / Duration of the growing season, days	Устойчивость к полеганию, балл / Lodging resistance, points
я-201*	Белгородский 100, st. / Belgorodsky 100, ref.	463	74	8,9
я-52	Crusades	343	77	8,5
я-4	752 A	276	73	5,6
к-30574**	Filippa	431	76	8,9
к-35425	NCL 95098	375	75	9,0
к-30349	Landrace	227	73	5,8
к-5983	Местный / Local	296	73	5,8
к-3506	Местный / Local	276	75	5,9
к-2929	Местный / Local	280	73	5,7
к-2930	Местный / Local	283	73	5,3
к-5210	Макбо	255	72	5,1
к-30256	Rodos	465	76	8,4
к-15619	Полярный 14 / Polyarny 14	314	73	7,5
к-30892	Наран / Naran	407	73	8,5
HCP₀₅ / LSD₀₅		42	3	–

Примечание * – номер каталога ФАНЦ Северо-Востока; ** – номер по каталогу ВИР; st. – сорт-стандарт
Note: * – FARC North-East Catalogue No.; ** – VIR Catalogue No.; ref. – reference cultivar

ента в межфазный период «колошение – созревание» ($r = 0,85$), суммы эффективных температур ($r = 0,75$) и количества осадков ($r = 0,67$) за период «всходы – созревание».

Для дальнейшей селекционной работы выделены источники, характеризующиеся повышенной пластичностью и стабильно высоким содержанием белка в зерне. Образцы я-52 ('Crusades', Великобритания), к-30574 ('Filippa', Швеция), к-30349 (Landrace, Перу), к-2929 (Местный, Китай) и к-30256 ('Rodos', Польша) рекомендуется использовать для селекции сортов, которые будут возделываться по интенсивным технологиям; образцы я-4 (752A, Швейцария), к-35415 (NCL 95098, Аргентина), к-5983 (Местный, Афганистан), к-3506 (Местный, Индия), к-2930 (Местный, Китай), к-5210 ('Макбо', Австралия) и к-30892 ('Наран', Россия) – по экстенсивным технологиям. Высокобелковые генотипы я-4 (752A, Швейцария), к-30349 (Landrace, Перу), к-5983 (Местный, Афганистан), к-3506 (Местный, Индия), к-2929 (Местный, Китай), к-2930 (Местный, Китай), к-5210 ('Макбо', Австралия) и к-15619 ('Полярный 14', Россия) необходимо скрещивать с более продуктивными и устойчивыми к полеганию образцами.

References / Литература

- Dospekhov B.A. Methodology of field trial (Metodika polevogo opyta). Moscow: Agropromizdat; 1985. [in Russian] (Доспехов Б.А. Методика полевого опыта. Москва: Агропромиздат; 1985).
- Dubovik D.V., Chuyan O.G. Quality of crops depending on agronomical practices and climatic conditions. *Zemledelie = Crop Farming*. 2018;(2):9-13. [in Russian] (Дубовик Д.В., Чуян О.Г. Качество сельскохозяйственных культур в зависимости от агротехнических приемов и климатических условий. *Земледелие*. 2018;(2):9-13). DOI: 10.24411/0044-3913-2018-10202
- Filippov E.G., Dontsova A.A., Bragin R.N. The assessment of ecological plasticity and stability of winter barley varieties and lines. *Grain Economy of Russia*. 2018;2(56):11-13. [in Russian] (Филиппов Е.Г., Донцова А.А., Брагин Р.Н. Оценка экологической пластичности и стабильности сортов и линий озимого ячменя. *Зерновое хозяйство России*. 2018;2(56):11-13).
- Glukhovtsev V.V., Drovaleva N.V. Features of formation protein and its amino acid composition in summer barley grains depending on weather conditions in the Mid-

- dle Volga region. *Vestnik of Kazan State Agrarian University*. 2011;6(2):120-123. [in Russian] (Глуховцев В.В., Дровальева Н.В. Особенности формирования белка и его аминокислотного состава в зерне ярового ячменя в зависимости от погодных условий в Среднем Поволжье. *Вестник Казанского государственного аграрного университета*. 2011;6(2):120-123).
- Guo B, Li D., Lin S., Li Y., Wang S., Lv C., et al. Regulation of nitrogen availability results in changes in grain protein content and grain storage subproteomes in barley (*Hordeum vulgare* L.). *Plos One*. 2019;14(10):0223831. DOI: 10.1371/journal.pone.0223831
- Hagenblad J., Vanhala T., Madhavan S., Leino M.W. Protein content and HvNAM alleles in Nordic barley (*Hordeum vulgare*) during a century of breeding. *Hereditas*. 2022;159(1):12. DOI: 10.1186/s41065-022-00227-y.
- Jaeger A., Zannini E., Sahin A.W., Arendt E.K. Barley protein properties, extraction and applications, with a focus on brewers' spent grain protein. *Foods*. 2021;10(6):1389. DOI: 10.3390/foods10061389
- Kosolapova T.V., Shmorgunov G.T. Ecological plasticity and stability of winter rye productivity in the Republic of Komi. *Agricultural Science Euro-North-East*. 2017;4(59):9-12. [in Russian] (Косолапова Т.В., Шморгунов Г.Т. Экологическая пластичность и стабильность озимой ржи в условиях Республики Коми. *Аграрная наука Евро-Северо-Востока*. 2017;4(59):9-12). DOI: 10.30766/2072-9081.2017.59.4.09-13
- Lekeš J., Bareš I., Foral A., Odignal V., Ružička F., Bobek M., Trofimovskaya A., Lukyanova M., Korneychuk V., Ilyina N., Yarosh N. International COMECON list of descriptors for the genus *Hordeum* L. (subgen. *Hordeum*). Leningrad: VIR; 1983. [in Russian] (Лекеш Я., Бареш И., Форал А., Одиignal И., Ружичка Ф., Бобек М., Трофимовская А., Лукьянова М., Корнейчук В., Ильина Н., Ярош Н. Международный классификатор СЭВ рода *Hordeum*. Ленинград: ВИР; 1983).
- Loskutov I.G., Kovaleva O.N., Blinova E.V. Methodological guidelines for the study and preservation of the world collection of barley and oats (Metodicheskiye ukazaniya po izucheniyu i sokhraneniyyu mirovoy kolleksii 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).
- Mergalimov D.B., Bekenova L.V., Shamanin V.P. Group yield and quality of barley in the North-Eastern Kazakhstan. *Bulletin of NSAU (Novosibirsk State Agrarian University)*. 2016;1(38):28-36. [in Russian] (Мергалимов Д.Б., Бекенова Л.В., Шаманин В.П. Урожайность и качество сортов и линий ячменя в условиях Северо-Востока Казахстана. *Вестник НГАУ (Новосибирский государственный аграрный университет)*. 2016;1(38):28-36).
- Nikolaev P.N., Aniskov N.I., Yusova O.A. Plasticity, stability and adaptability of grain quality of spring barley varieties in the conditions of Omsk region. *Vestnik of Ulyanovsk State Agricultural Academy*. 2018;1(41):43-48. [in Russian] (Николаев П.Н., Анисков Н.И., Юсова О.А. Пластичность, стабильность и адаптивность качества зерна сортов ярового ячменя в условиях Омской области. *Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии*. 2018;1(41):43-48). DOI: 10.18286/1816-4501-2018-1-43-48
- Pryadun U.P. Formation of protein in grain of collection samples spring barley under northern forest-steppe Chelyabinsk region. *Proceedings on Applied Botany, Genetics and Breeding*. 2013;171:69-72. [in Russian] (Прядун Ю.П. Формирование белка в зерне коллекционных образцов ярового ячменя в условиях северной лесостепи Челябинской области. *Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции*. 2013;171:69-72).
- Shchennikova I.N., Kokina L.P., Zaytseva I.Yu. Ecological stability of varieties and breeding lines of spring barley. *Vestnik of the Mari State University. Chapter "Agriculture. Economics"*. 2018;4(3):85-91. [in Russian] (Щенникова И.Н., Кокина Л.П., Зайцева И.Ю. Экологическая устойчивость сортов и селекционных линий ярового ячменя. *Вестник Марийского государственного университета. Серия «Сельскохозяйственные науки. Экономические науки»*. 2018;4(3):85-91). DOI: 10.30914/2411-9687-2018-4-3-85-90
- Shulepova O.V., Belkina R.I. Grain quality of barley varieties in the conditions of Northern Trans-Urals. *The Bulletin of KrasGAU*. 2017;10(133):9-14. [in Russian] (Шулепова О.В., Белкина Р.И. Качество зерна сортов ячменя в условиях Северного Зауралья. *Вестник КрасГАУ*. 2017;10(133):9-14).
- Shulepova O.V., Sannikova N.V., Kovaleva O.V. Evaluation of the biochemical composition of seeds of different varieties of spring barley depending on pre-treatment in the conditions of forest-steppe zone of Zauralye. *Bulletin of Michurinsk State Agrarian University*. 2021;1(64):63-69. [in Russian] (Шулепова О.В., Санникова Н.В., Ковалева О.В. Оценка биохимического состава зерна различных сортов ярового ячменя в зависимости от предпосевной обработки в условиях лесостепной зоны Зауралья. *Вестник Мичуринского государственного аграрного университета*. 2021;1(64):63-69).
- Sintsova N.F., Sergeeva Z.F., Bashlakova O.N. Plasticity and stability of potato varieties bred by Falenki breeding station. *Agricultural Science Euro-North-East*. 2018;65(4):54-58. [in Russian] (Синцова Н.Ф., Сергеева З.Ф., Башлакова О.Н. Пластичность и стабильность сортов картофеля селекции Фалёнской селекционной станции. *Аграрная наука Евро-Северо-Востока*. 2018;65(4):54-58). DOI: 10.30766/2072-9081.2018.65.4.54-58
- Yeroshenko L.M., Dedushev I.A., Romakhin M.M., Yeroshenko A.N., Yeroshenko N.A., Romakhina V.V. The influence of the hydrothermal coefficient on groats qualities of barley varieties under the conditions of the Non-Chernozem Zone. *Bulletin of Altai State Agricultural University*. 2020;2(184):26-32. [in Russian] (Ерошенко Л.М., Дедушев И.А., Ромахин М.М., Ерошенко А.Н., Ерошенко Н.А., Ромахина В.В. Влияние гидротермического коэффициента на крупяные качества сортов ячменя в условиях Нечерноземной зоны. *Вестник Алтайского государственного аграрного университета*. 2020;2(184):26-32).
- Yu W., Tan X., Zou W., Hu Z., Fox G.P., Gidley M.J. et al. Relationships between protein content, starch molecular structure and grain size in barley. *Carbohydrate Polymers*. 2017;155:271-279. DOI: 10.1016/j.carbpol.2016.08.078
- Yusova O.A., Nikolaev P.N., Popolzukhin P.V. Formation of grain quality of brewing barley varieties depending on growing season conditions. *Zemledelie = Crop Farming*. 2015;(5):44-46. [in Russian] (Юсова О.А., Николаев П.Н., Поползухин П.В. Формирование качества зерна пивоваренных сортов ячменя в зависимости от условий периода вегетации. *Земледелие*. 2015;(5):44-46).
- Yusova O.A., Nikolayev P.N. Productivity and grain quality of barley under conditions of the southern forest steppe in Western Siberia. *Siberian Herald of Agricultural Science*. 2016;6(263):13-22. [in Russian] (Юсова О.А., Нико-

лаев П.Н. Урожайность и качество зерна ячменя в условиях южной лесостепи Западной Сибири. *Сибирский вестник сельскохозяйственной науки*. 2016;6(263):13-22).

Zykin V.A., Belan I.A., Yusov V.S., Kiraev R.S., Chanyshv I.O. Environmental plasticity of agricultural plants (methods and assessment) (Экологическая пластичность сельскохозяйственных растений [методика и оценка]). Ufa; 2011. [in

Russian] (Зыкин В.А., Белан И.А., Юсов В.С., Кираев Р.С., Чанышев И.О. Экологическая пластичность сельскохозяйственных растений (методика и оценка). Уфа; 2011).
Zyuba S.N. Growing conditions and fodder productivity of spring barley. *Zemledelie = Crop Farming*. 2012;(4):47-48. [in Russian] (Зюба С.Н. Условия выращивания и кормовая продуктивность ярового ячменя. *Земледелие*. 2012;(4):47-48).

Информация об авторах

Ирина Юрьевна Зайцева, младший научный сотрудник, Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока им. Н.В. Рудницкого, 610007 Россия, Киров, ул. Ленина, 166а, irina-zajceva30@rambler.ru, <https://orcid.org/0000-0002-1228-2151>

Ирина Николаевна Щенникова, доктор сельскохозяйственных наук, член-корреспондент РАН, заведующая лабораторией, Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока им. Н.В. Рудницкого, 610007 Россия, Киров, ул. Ленина, 166а, i.schennikova@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-5143-9246>

Любовь Владимировна Панихина, младший научный сотрудник, Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока им. Н.В. Рудницкого, 610007 Россия, Киров, ул. Ленина, 166а, miss.lovemama@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-2227-7716>

Елена Васильевна Дягилева, младший научный сотрудник, Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока им. Н.В. Рудницкого, 610007 Россия, Киров, ул. Ленина, 166а, lens_90@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-2870-2269>

Information about the authors

Irina Yu. Zaytseva, Associate Researcher, Federal Agricultural Research Center of the North-East named N.V. Rudnitsky, 166a Lenina St., Kirov 610007, Russia, irina-zajceva30@rambler.ru, <https://orcid.org/0000-0002-1228-2151>

Irina N. Shchennikova, Dr. Sci. (Agriculture), Corresponding Member of the Russian Academy of Sciences, Head of a Laboratory, Federal Agricultural Research Center of the North-East named N.V. Rudnitsky, 166a Lenina St., Kirov 610007, Russia, i.schennikova@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-5143-9246>

Liubov V. Panikhina, Associate Researcher, Federal Agricultural Research Center of the North-East named N.V. Rudnitsky, 166a Lenina st., Kirov 610007, Russia, miss.lovemama@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-2227-7716>

Elena V. Dyagileva, Associate Researcher, Federal Agricultural Research Center of the North-East named N.V. Rudnitsky, 166a Lenina St., Kirov 610007, Russia, lens_90@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-2870-2269>

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 22.03.2022; одобрена после рецензирования 29.04.2022; принята к публикации 01.12.2022. The article was submitted on 22.03.2022; approved after reviewing on 29.04.2022; accepted for publication on 01.12.2022.