

КОЛЛЕКЦИИ МИРОВЫХ ГЕНЕТИЧЕСКИХ РЕСУРСОВ КУЛЬТУРНЫХ РАСТЕНИЙ ДЛЯ РАЗВИТИЯ ПРИОРИТЕТНЫХ НАПРАВЛЕНИЙ СЕЛЕКЦИИ

Научная статья
УДК 633.16:581.132:631.527
DOI: 10.30901/2227-8834-2024-2-82-94



Исходный материал для селекции сортов ярового ячменя с высоким качеством зерна

И. Ю. Зайцева, И. Н. Щенникова, Е. М. Лисицын

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

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

Актуальность. Ячмень (*Hordeum vulgare* L.) используется на кормовые и пищевые цели. Проблема повышения качества зерна ячменя, в частности содержания белка, имеет практическое значение для селекции. Целью исследования является выделение высокобелковых генетических источников ярового ячменя для селекции новых сортов и поиск возможности прогноза содержания белка в зерне по содержанию хлорофилла в листьях.

Материалы и методы. Исследования проведены в 2018–2020 гг. на 28 генотипах ячменя различного эколого-географического происхождения в соответствии с общепринятыми методиками. Содержание белка в зерне определяли методом спектроскопии в ближней инфракрасной области, содержание хлорофиллов – спектрофотометрически в ацетоновых вытяжках листьев по методике: Chlorophylls and carotenoids: measurement and characterization by UV-VIS spectroscopy.

Результаты и заключение. Содержание белка в зерне статистически значимо коррелировало с количеством осадков ($r = 0,67$), суммой эффективных температур ($r = 0,75$) и гидротермическим коэффициентом ($r = 0,76$) за вегетационный период. Выделены генотипы с высоким содержанием белка в зерне, высокой натурной массой зерна и выравненностью. Образцы к-30574 и к-30256, имеющие высокую урожайность и устойчивость к полеганию, являются перспективными для селекции высокобелковых сортов. Высокой пластичностью по показателю «содержание белка» характеризовались образцы к-15619, к-30379 и к-31046. Стабильно высоким содержанием белка в зерне отличался образец к-5983. Выявлены статистически значимые корреляции между содержанием хлорофиллов во флаговом листе и содержанием белка в зерне в наборе сортов с показателем экологической пластичности b_1 ниже единицы ($r = 0,585...-0,645$). У образцов экстенсивного типа с повышением содержания пигментов в листьях наблюдали снижение содержания белка ($r = -0,643$ и $-0,638$ для *Chl a* и *Chl b* соответственно; $r = -0,645$ для суммарного хлорофилла). Высокий уровень соотношения *Chl a/b* может указывать на повышенное содержание белка в зерне этих сортов ($r = 0,585$).

Ключевые слова: *Hordeum vulgare* L., белок, хлорофилл, пластичность, стабильность, натура зерна, выравненность, устойчивость к полеганию

Благодарности: работа выполнена при поддержке Минобрнауки РФ в рамках госзадания Федеральному аграрному научному центру Северо-Востока имени Н.В. Рудницкого (тема № FNWE-2022-0007).

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

Для цитирования: Зайцева И.Ю., Щенникова И.Н., Лисицын Е.М. Исходный материал для селекции сортов ярового ячменя с высоким качеством зерна. *Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции*. 2024;185(2):82-94. DOI: 10.30901/2227-8834-2024-2-82-94

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

Original article

DOI: 10.30901/2227-8834-2024-2-82-94

Source material for breeding spring barley cultivars with high grain quality

Irina Yu. Zaytseva, Irina N. Shchennikova, Eugene M. Lisitsyn

Federal Agricultural Research Center of the North-East named N.V. Rudnitsky, Kirov, Russia

Corresponding author: Irina Yu. Zaytseva, irina-zajiceva30@rambler.ru

Background. The problem of improving barley (*Hordeum vulgare* L.) grain quality, in particular grain protein content, is of practical importance for breeding. The objective was to select high-protein genetic sources of spring barley for breeding new cultivars and search for possibilities of predicting grain protein content according to the chlorophyll content in leaves.

Materials and methods. The studies were conducted in 2018–2020 on 28 barley genotypes of different ecogeographic origin in accordance with conventional methods. Grain protein content was assessed using near-infrared spectroscopy, and chlorophyll content was measured spectrophotometrically in acetone leaf extracts using the method: *Chlorophylls and carotenoids: measurement and characterization by UV-VIS spectroscopy*.

Results and conclusion. Average grain protein content significantly correlated with the amount of precipitations ($r = 0.67$), the sum of effective temperatures ($r = 0.75$) and the hydrothermal coefficient ($r = 0.76$) during the growing season. Genotypes with high grain protein content, high test weight, and grain uniformity were selected. Accessions k-30574 and k-30256 showing high yields and resistance to lodging are promising for the development of high-protein cultivars. Accessions k-15619, k-30379 and k-31046 demonstrated high plasticity in their protein content parameters. Accession k-5983 was characterized by consistently high grain protein content. Statistically significant correlations between chlorophyll content in the flag leaf and grain protein content were found in a set of accessions with environmental plasticity (b_e) values lower than 1.0 ($r = 0.585 \dots -0.645$). A decrease in protein content was observed in extensive-type accessions with increased pigment content in leaves ($r = -0.643$ and -0.638 for *Chl a* and *Chl b*, respectively; $r = -0.645$ for the total chlorophyll). A high *Chl a/b* ratio may serve as an indicator of higher grain protein content levels in such genotypes ($r = 0.585$).

Keywords: *Hordeum vulgare* L., protein, chlorophyll, plasticity, stability, test weight, uniformity, lodging resistance

Acknowledgements: the research was supported by the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation in the framework of the state task assigned to the Federal Agricultural Research Center of the North-East named N.V. Rudnitsky (theme No. FNWE-2022-0007).

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

For citation: Zaytseva I.Yu., Shchennikova I.N., Lisitsyn E.M. Source material for breeding spring barley cultivars with high grain quality. *Proceedings on Applied Botany, Genetics and Breeding*. 2024;185(2):82-94. DOI: 10.30901/2227-8834-2024-2-82-94

Введение

В настоящее время ячмень (*Hordeum vulgare* L.) среди зерновых культур занимает четвертое место в мире по сбору урожая и площади возделывания. В Кировской области Российской Федерации яровым ячменем представлены 36% посевов зерновых культур (Shchennikova, Kokina, 2021), а в отдельных регионах России под ячмень отводится до 70% зернового клина (Radyukevich et al., 2019). Одним из наиболее действенных и вместе с тем эффективных способов повышения продуктивности является сортомена, когда вместо старых сортов используют современные, более продуктивные и высокоадаптивные к конкретным почвенно-климатическим условиям возделывания. С экономической точки зрения выведение новых сортов позволяет с минимальными затратами добиться получения высоких урожаев сельскохозяйственных культур. Проблема повышения качества зерна ячменя имеет первостепенное практическое значение. Качество зерна является сложным понятием и включает в себя большое количество показателей (Nayak et al., 2022), основными из которых являются содержание белка, натура и выравненность.

В Волго-Вятском регионе в основном выращивают сорта ярового ячменя, имеющие зернофуражное назначение; так, для приготовления комбикормов используется больше половины всего фуражного зерна. Это обусловлено тем, что зерно ярового ячменя, наряду с высокой питательной ценностью, характеризуется высоким содержанием полезных веществ и витаминов (Shulepova et al., 2021). Безобмолотная уборка позволяет использовать его как высококачественный корм, который способен составить весь рацион животных (монокорм). Зерно ячменя содержит от 8 до 30% белка, что имеет существенное значение для насыщения рационов животных растительным белком. В ходе развития зерна белок запасается в эндосперме и алейроновом слое, причем максимум накопления отмечается на стадии созревания (Yu et al., 2017; Jaeger et al., 2021).

Кроме генетических факторов, на количественное содержание белка в зерне ячменя большое влияние оказывают экологические факторы (Hagenblad et al., 2022). Поэтому выведение высокопродуктивных сортов ячменя, сочетающих высокое качество зерна с устойчивостью к стрессорам биотической и абиотической природы, поможет частично решить проблему дефицита белка в кормах для сельскохозяйственных животных.

Натура зерна характеризует главным образом выполненность, плотность и полновесность зерна. Хорошо выполненное зерно отличается более высоким относительным содержанием самой ценной его части – эндосперма. Также натура является косвенным признаком такого технологического качества, как выход муки и крупы: чем выше натура зерна, тем выше этот показатель (Orapasyuk, Belkina, 2012). Натура зерна формируется преимущественно под влиянием погодных условий, складывающихся в период вегетации растений, но отмечается и значимая роль генотипа (Deivasigamani, Swaminathan, 2018; Malkanduyev et al., 2018).

Выравненность характеризует зерно по его форме и размеру и является важным показателем качества (Gubanova, Gubanov, 2018; Abdurakhmanov et al., 2019). Особое значение этот показатель приобретает в процессе получения крупы из зерна, снижая потери и повышая качество конечных продуктов при повышении степени выравненности исходного сырья. По мнению Т. В. Гор-

пинченко (Gorpinchenko, 2008), наиболее качественные продукты переработки ячменя (как пивоваренного, так и крупяного назначения) можно получить в тех случаях, когда степень выравненности зерна превышает 85%. Высокая выравненность необходима и для получения дружных всходов при проведении посевных работ, равномерного развития растений в посевах, одновременного созревания зерна, что в свою очередь обеспечивает более легкую и быструю уборку с одновременным повышением качества получаемого зерна (Tetyannikov, Bome, 2022).

Флаговый лист зерновых культур поставляется азот прямо в колос и обеспечивает от 50 до 60% ежедневного синтеза пластических веществ (Tofiq et al., 2015), поэтому его роль в повышении урожая и качества зерна, в частности в повышении содержания белка, в последние годы активно изучается и используется в селекции (Liu et al., 2015; Nayak et al., 2022; Racz et al., 2022). Многие авторы указывают на то, что содержание белка в зерне может быть спрогнозировано по величине содержания в листьях таких пигментов, как хлорофиллы, оцененного в поле с помощью портативных хлорофиллометров типа SPAD-502 (Minolta Corporation, Japan), Yara N-Tester™ (Yara International ASA, Norway) или CCM-200 (Opti-Sciences, USA) (Aranguren et al., 2021; Ghassemi-Golezani, Mousavi, 2022).

I. Racz et al. (2022) установили, что коэффициент корреляции между содержанием хлорофиллов *a* и *b* во флаговом листе трех сортов пшеницы и содержанием белка в зерне может достигать в разные годы величин 0,62–0,66. В то же время погодные условия вегетации и генотипические различия сортов оказывают значительное влияние на силу этой связи. Так, в условиях засухи в период налива зерна эта корреляция может быть отрицательной (Javed et al., 2022). J. Peltonen et al. (1995) обнаружили, что оценка содержания хлорофилла на стадии GS65 (середина цветения) позволяет предсказать содержание белка в зерне, при этом на стадии GS65 все еще возможно повлиять на этот параметр посредством внекорневого внесения азотных удобрений (Hoel, 2002).

Цель исследования: а) на основе оценки коллекционных образцов различного эколого-географического происхождения выделить источники для селекции сортов ярового ячменя с высоким содержанием белка в зерне в условиях Волго-Вятского региона РФ; б) проанализировать возможность прогноза содержания белка в зерне по содержанию хлорофилла в листьях

Материалы и методы

Исследования проведены в 2018–2020 гг. в Федеральном аграрном научном центре Северо-Востока им. Н.В. Рудницкого, г. Киров. Почва опытного участка дерново-подзолистая среднесуглинистая, сформирована на элювии пермских глин. Содержание гумуса низкое (2,27–3,56%), кислотность солевой вытяжки составляет 4,4–5,8 единиц pH. Содержание фосфора преимущественно высокое (167–367 мг/кг), обменного калия – очень высокое (243–247 мг/кг).

Опытные посевы размещали по предшественнику чистый пар. Фоном весной под культивацию вносили минеральные удобрения в дозе $N_{48}P_{48}K_{48}$ (нитроаммофоска НРК 16 : 16 : 16, АО «ОХК «УРАЛХИМ»).

Согласно данным Кировского центра по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды (г. Киров), метеорологические условия значительно различались по годам исследований как по температурному ре-

жиму, так и по обеспеченности посевов влагой. В 2018 г. сложились неблагоприятные погодные условия из-за частых дождей и низких температур (ГТК = 1,65), а 2019 г. с температурой воздуха в пределах климатической нормы и дефицитом осадков характеризовался как умеренно влажный (ГТК = 1,37). В 2020 г. в течение вегетационного периода было сухо с незначительными осадками (ГТК = 1,56). Наиболее благоприятные условия для накопления белка в зерне коллекционных образцов сложились в 2020 г., высокой урожайности – в 2018 и 2020 г., однако ливневые дожди в 2020 г. в межфазный период «колошение – созревание» спровоцировали полегание коллекционных образцов.

Объектом исследований являлись 28 образцов ярового ячменя различного эколого-географического происхождения, предоставленные Всероссийским институтом генетических ресурсов растений имени Н.И. Вавилова (ВИР) (в тексте «к-» – каталог ВИР) и другими аграрными научными центрами («я-» – каталог ФГБНУ ФАНЦ Северо-Востока). Исследования проводили в соответствии с классификатором и методическими указаниями, разработанными в ВИР (Lekeš et al., 1983; Loskutov et al., 2012). Содержание белка в зерне ячменя определено в лабораторных условиях методом спектроскопии в ближней инфракрасной области с помощью инфракрасного анализатора INFRAMATIC 8620 (Perten Instruments, Sweden), натурная масса определена в соответствии с ГОСТ 10840-64 (GOST 10840-64..., 2009), выравниваемость определяли на аппарате ВИМС РКС-1.

Для выделения ценных для селекции образцов ячменя со стабильно высоким содержанием белка в зерне вычисляли параметры экологической пластичности (b_i), стабильности (σd^2) и индекс условий среды (I_j) с использованием методики, разработанной S. A. Eberhart и W. A. Russell, в редакции В. А. Зыкина с соавторами (Zykin et al., 2011).

В фазу цветения с 20 растений каждого исследуемого генотипа отбирали пробы флагового и подфлагового листьев для анализа содержания пигментов. Концентрацию хлорофиллов *a* (*Chl a*) и *b* (*Chl b*) в ацетоновых вытяжках листьев (100-процентный ацетон) определяли на спектрофотометре UVmini 1240 Shimadzu (Japan) с последующим пересчетом содержания пигментов на 1 г сухой массы листьев согласно методике Chlorophylls and carotenoids: measurement and characterization by UV-VIS spectroscopy (Lichtenthaler, Buschmann, 2001).

Полученные данные обрабатывали статистически с использованием табличного процессора Microsoft Office Excel 2013 и пакета селекционно-генетических программ AGROS, версия 2.07.

Результаты и обсуждение

Усредненное за три года содержание белка в зерне изменялось по сортам от 12,0 до 16,2% (CV = 9,0%), а в целом по опыту – от 10,5 до 16,8% (CV = 11,2%) (табл. 1).

В научно-исследовательских работах приводятся различные данные о зависимости содержания белка в зерне от условий тепло- и влагообеспеченности как отдельных фаз вегетации, так и периода развития растений в целом. Так, согласно исследованиям В. В. Глуховцева и Н. В. Дровальевой, О. А. Юсовой с соавторами (Glukhovtsev, Drovaleva, 2011; Yusova et al., 2015), повышенное содержание белка в зерне наблюдается в условиях дефицита осадков. Однако в работе Д. В. Дубовик и О. Г. Чуян (Dubovik, Chuayan, 2018) отмечается, что в слабоувлажненные годы зафиксировано наименьшее количество белка. От-

рицательная корреляционная зависимость между содержанием белка и осадками во все фазы развития ячменя, кроме фаз «колошение» и «молочная спелость», выявлена в исследовании Ю. П. Прядуна (Pryadun, 2013). По данным, приведенным в статье Л. М. Ерошенко с соавторами (Yeroshenko et al., 2020), к снижению количества белка в зерне приводило увеличение ГТК в межфазные периоды «кущение – колошение» ($r = -0,51 \dots -0,56$) и «колошение – налив зерна» ($r = -0,53$), а во время налива и созревания зерна с увеличением ГТК содержание белка в зерне возрастало ($r = 0,21 \dots 0,66$).

Как показывают результаты нашего анализа исходных данных, на содержание белка в зерне большое влияние оказывали погодные условия года: содержание белка статистически значимо (при $p \leq 0,05$) коррелировало с суммой эффективных температур ($r = 0,75$) и количеством осадков ($r = 0,67$) как за весь период вегетации, так и за межфазный период «колошение – созревание» ($r = 0,62$ и $0,74$ соответственно). Гидротермический коэффициент за весь период вегетации также был статистически связан с изучаемым показателем качества зерна ($r = 0,76$).

Полученные данные по содержанию белка в полном наборе образцов были использованы для расчета индексов условий среды. В результате анализа выявлено, что ухудшение погодных условий в период вегетации (снижение величины I_j) приводит к снижению величины содержания белка в зерне изученных генотипов при одновременном усилении ее вариабельности. В 2018 г. отмечен самый высокий коэффициент вариации (CV = 12,7%) содержания белка по образцам (от 10,5 до 16,8%), при этом индекс условий среды составил $-0,37$ единиц. В 2019 г. (индекс условий среды $I_j = -0,56$) содержание белка варьировало от 10,9 до 15,9% (CV = 10,7%). В наиболее благоприятном для накопления белка 2020 г. отмечен самый высокий индекс $I_j = 0,93$, при этом содержание белка варьировало от 12,6 до 17,4% у разных генотипов (CV = 8,3%) (рисунок).

В целом за три года исследований генотипы 'Landrace' (к-30349), местный (к-2929), местный (к-2930) и 'Makbo' (к-5210) характеризовались высоким содержанием белка. Наряду с ними образцы 'Crusades' (я-52), '752A' (я-4), 'Filippa' (к-30574), 'NCL 95098' (к-35415), местный (к-5983), местный (к-3506), 'Rodos' (к-30256), 'Полярный 14' (к-15619) и 'Наран' (к-30892) статистически значимо превысили стандартный сорт 'Белгородский 100' (я-201) по этому параметру качества (см. табл. 1).

Для включения того или иного образца в селекционную работу, кроме содержания белка в зерне, необходимо также учитывать уровень адаптивности генотипа к возделыванию в конкретном регионе, характеризующимся своим комплексом неблагоприятных погодных-климатических условий. Чем выше адаптивность высокобелковых образцов, тем с большей вероятностью можно ожидать стабильно высокого содержания белка в их зерне в годы, контрастные по метеоусловиям вегетации.

Данные таблицы 1 показывают, что исследуемые генотипы значительно отличались между собой по параметрам экологической пластичности (b_i) и стабильности (σd^2) содержания белка.

Образцы интенсивного типа ($b_i > 1,0$) представляют наибольшую селекционную ценность: это такие образцы, как 'Белгородский 100' (я-201), 'Новичок' (к-30806), 'Crusades', 'Cooper' (к-30375), 'Danuta' (к-30889), 'Filippa', 'Bonita' (к-35417), 'Landrace' (к-30349), 'Naxby' (к-31053), местный (к-2929), 'Одесский 115' (к-29010), 'Сябра' (к-

Таблица 1. Экологическая пластичность и стабильность коллекционных образцов ярового ячменя по содержанию белка в зерне (Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока имени Н.В. Рудницкого, г. Киров)**Table 1. Environmental plasticity and stability of spring barley accessions in the context of their grain protein content** (Federal Agricultural Research Center of the North-East named N.V. Rudnitsky, Kirov)

Образец / Accession	№ по каталогу / Catalogue No.	Содержание белка, % / Protein content, %				b_i	σd^2
		2018	2019	2020	Среднее / Average		
Местный / Local	к-5983	14,9	14,9	14,0	14,6*	-0,65	0,006
Местный / Local	к-3506	15,7	14,6	14,2	14,8*	-0,62	0,733
Makbo	к-5210	16,4	15,8	15,3	15,8*	-0,54	0,321
Местный / Local	к-2930	16,8	15,9	15,9	16,2*	-0,24	0,465
NCL 95098	к-35415	13,9	14,6	14,4	14,3*	0,01	0,235
Orthega	к-30468	12,3	12,3	12,6	12,4	0,22	0,006
Наран / Naran	к-30892	13,9	13,4	13,9	13,7*	0,24	0,114
752A	я-4	15,4	13,5	14,6	14,5*	0,25	1,796
Sultan	к-19798	11,9	12,8	13,1	12,6	0,45	0,496
Mentor	к-30873	13,5	12,7	13,7	13,3	0,46	0,249
Казьминский / Kazminsky	к-30926	13,8	13,0	14,1	13,6	0,59	0,218
Щедрый / Shchedry	к-31046	12,5	11,8	13,2	12,5	0,80	0,109
Mie	к-30379	11,9	12,1	13,3	12,4	0,92	0,078
Полярный 14 / Polyarny 14	к-15619	13,9	14,9	15,8	14,9*	0,96	0,704
Crusades	я-52	13,6	14,6	15,9	14,7*	1,17	0,719
Одесский 115 / Odessky 115	к-29010	11,7	12,3	13,8	12,6	1,18	0,377
Danuta	к-30889	13,0	12,0	14,1	13,0	1,24	0,305
Landrace	к-30349	15,4	14,6	16,8	15,6*	1,35	0,125
Местный / Local	к-2929	15,8	14,7	17,4	16,0*	1,60	0,298
Filippa	к-30574	13,6	12,9	15,5	14,0*	1,61	0,075
Bonita	к-35417	12,8	11,3	14,2	12,8	1,61	0,712
Новичок / Novichok	к-30806	11,2	12,8	14,7	12,9	1,83	1,177
Белгородский 100, st. / Belgorodsky 100, st.	я-201	11,9	10,9	13,9	12,2	1,89	0,195
Haxby	к-31053	11,6	11,8	14,6	12,7	2,00	0,149
Сябра / Syabra	к-29917	12,3	11,5	14,9	12,9	2,17	0,075
Рейдер / Reyder	я-356	10,5	11,2	14,1	12,0	2,25	0,649
Rodos	к-30256	13,1	12,1	15,9	13,7*	2,43	0,139
Cooper	к-30375	11,8	12,5	16,7	13,7*	3,16	0,938

Примечание: b_i – коэффициент регрессии (пластичность); σd^2 – среднеквадратическое отклонение (стабильность); * – превышение стандарта 'Белгородский 100' (я-201) статистически значимо при $p \leq 0,05$

Note: b_i – regression coefficient (plasticity); σd^2 – standard deviation (stability); * – statistically significant excess over the standard reference (cv. 'Belgorodsky 100', я-201), at $p \leq 0.05$

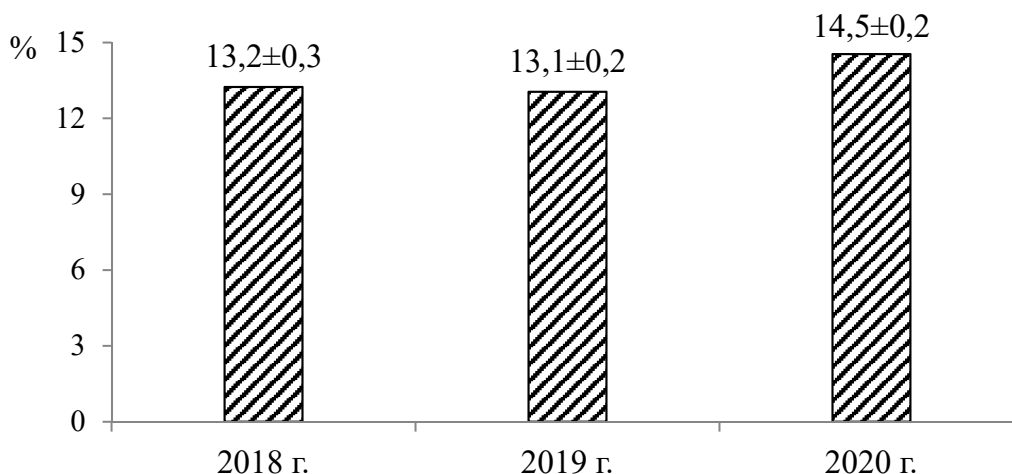


Рисунок. Среднее по коллекции содержание белка в зерне ячменя в годы исследований (2018–2020 гг., г. Киров)

Figure. Average grain protein content for the collection of barley accessions in different years of the study (2018–2020, Kirov)

29917), 'Rodos', 'Рейдер' (я-356). Максимальное в опыте содержание белка в зерне ячменя в благоприятный год сформировалось у образцов местный (к-2929) – 17,4%, 'Landrace' – 16,8%, 'Crusades', 'Rodos' – 15,9% и 'Filippa' – 15,5%.

К нейтральному типу ($b_i < 1,0$) были отнесены образцы 'Sultan' (к-19798), 'Mentor' (к-30873), 'Orthege' (к-30468), '752A' (я-4), 'NCL 95098', местный (к-5983), местный (к-3506), местный (к-2930), 'Makbo', 'Наран', 'Казьминский' (к-30926). Стабильным по годам было содержание белка в зерне образцов 'Наран' – 13,5; 13,4 и 13,9% и местный (к-5983) – 14,9; 14,9 и 14,0%, соответственно в 2018, 2019 и 2020 г.

Высокой экологической пластичностью ($b_i = 1$) характеризовались генотипы 'Полярный 14', 'Mie' (к-30379), 'Щедрый' (к-31046). При этом в зерне образца 'Полярный 14' отмечено высокое содержание белка.

Можно отметить образец местный (к-5983), который в условиях Волго-Вятского региона показал стабильно высокое содержание белка в зерне ($\sigma_d^2 \rightarrow 0$); образец 'Orthege' имел также стабильное содержание белка, однако оно было низким в каждый год исследования, но в среднем по опыту – на уровне стандарта 'Белгородский 100'.

Для изученных образцов ярового ячменя был проведен анализ содержания пигментов во флаговом и подфлаговом листьях. Данные представлены в таблице 2.

Среднее для выборки содержание *Chl a* составило $5,24 \pm 0,19$ и $3,94 \pm 0,28$ мг/г сухой массы для флагового и подфлагового листьев соответственно. Для *Chl b* аналогичные величины составили $3,01 \pm 0,19$ и $1,89 \pm 0,21$. Соответствующие коэффициенты вариации были равны 19,7; 37,0; 32,6 и 57,6%. Из этих данных следует, что вариабельность величин содержания *Chl b* в обоих листьях почти вдвое превышает вариабельность содержания *Chl a*, что делает это показатель более пригодным для оценки межсортовых различий, особенно при анализе подфлагового листа, что подтверждает полученные нами ранее данные (Noskova et al., 2019).

В целом для исследуемой выборки сортов ярового ячменя содержание белка в зерне не показало каких-либо статистически значимых корреляций с содержанием и соотношением пигментов во флаговом и подфлаговом листьях (табл. 3).

Необходимо отметить, что в научной литературе на сегодняшний день нет единого мнения о характере сопряженности содержания пигментов в листьях и белка в зерне для большинства зерновых культур (Hansen et al., 2002; Wang et al., 2004). M. Aranguren et al. (2021) считают, что величины и направление взаимосвязей этих двух параметров в значительной степени варьируют в зависимости от конкретных условий года и места выращивания. R. J. López-Bellido et al. (2004) отмечали, что высокое содержание азота в зерне и низкая урожайность характерны для засушливых условий вегетации. В этом случае содержание хлорофилла на середине стадии цветения (GS65) во флаговом листе может на 68–77% объяснить вариабельность содержания белка в зерне.

M. Aranguren et al. (2021) предлагают обращать внимание на величину урожайности сорта. В их исследовании в условиях Средиземноморья, при урожайности яровой пшеницы ниже чем 8 т/га, показана адекватность использования данных содержания хлорофилла во флаговом листе на стадиях от GS60 до GS69 для предсказания вариабельности содержания белка в зерне.

Мы использовали несколько иной подход и разделили всю выборку сортов не по урожайности, а по величине параметра экологической пластичности (b_i) сортов. Такой подход позволил отметить отсутствие корреляционных связей между пигментным комплексом листьев и средним содержанием белка для сортов с уровнем b_i выше единицы (сорта интенсивного типа). В то же время сорта, имеющие показатель экологической пластичности ниже единицы, характеризовались наличием статистически значимых взаимосвязей содержания белка в зерне с пигментным комплексом флагового листа. Так, для *Chl a* и *Chl b* коэффициенты парных корреляций составили $r = -0,643$ и $-0,638$ соответственно; для соотношения *Chl a/b* – $r = 0,585$; для суммарного содержания хлорофилла во флаговом листе – $r = -0,645$.

Рассчитанные по исходным данным уравнения регрессии могут способствовать прогнозу содержания белка в зерне сортов ярового ячменя экстенсивного типа (с b_i ниже 1) на основе анализа содержания зеленых пигментов во флаговом листе в фазу цветения. Эти уравнения выглядят следующим образом:

Таблица 2. Содержание хлорофилльных пигментов (*Chl a* и *Chl b*) во флаговом и подфлаговом листьях образцов ярового ячменя (мг/г сухой массы)**Table 2.** Content of chlorophyll pigments (*Chl a* and *Chl b*) in the flag and second leaves of spring barley accessions (mg/g dry weight)

Образец / Accession	№ по каталогу / Catalogue No.	Флаговый лист / Flag leaf		Подфлаговый лист / Second leaf	
		<i>Chl a</i>	<i>Chl b</i>	<i>Chl a</i>	<i>Chl b</i>
Местный / Local	к-5983	4,82 ± 0,36	2,75 ± 0,28	3,08 ± 0,33	1,33 ± 0,19
Местный / Local	к-3506	4,12 ± 0,19	2,23 ± 0,20	1,44 ± 0,25	0,59 ± 0,07
Makbo	к-5210	5,65 ± 0,13	3,26 ± 0,16	5,18 ± 0,10	2,61 ± 0,05
Местный / Local	к-2930	3,37 ± 0,29	1,51 ± 0,20	3,40 ± 0,16	1,58 ± 0,09
NCL 95098	к-35415	5,37 ± 0,26	2,92 ± 0,21	2,80 ± 0,17	1,14 ± 0,13
Orthega	к-30468	4,40 ± 0,23	1,96 ± 0,23	5,52 ± 0,18	2,14 ± 0,21
Наран / Naran	к-30892	5,95 ± 0,31	3,25 ± 0,29	4,44 ± 0,21	1,94 ± 0,25
752A	я-4	5,50 ± 0,25	3,24 ± 0,22	3,51 ± 0,17	1,50 ± 0,11
Sultan	к-19798	4,28 ± 0,28	1,99 ± 0,21	3,45 ± 0,18	1,12 ± 0,12
Mentor	к-30873	6,58 ± 0,17	4,46 ± 0,05	6,06 ± 0,31	3,58 ± 0,31
Казьминский / Kazminsky	к-30926	6,74 ± 0,18	4,41 ± 0,21	7,24 ± 0,18	4,76 ± 0,22
Щедрый / Shchedry	к-31046	5,63 ± 0,24	3,17 ± 0,05	3,03 ± 0,13	1,28 ± 0,06
Mie	к-30379	6,03 ± 0,28	3,97 ± 0,24	3,93 ± 0,14	1,96 ± 0,11
Полярный 14 / Polyarny 14	к-15619	4,97 ± 0,18	2,69 ± 0,15	2,92 ± 0,17	1,28 ± 0,08
Crusades	я-52	3,98 ± 0,25	1,88 ± 0,16	1,99 ± 0,07	0,86 ± 0,02
Одесский 115 / Odessky 115	к-29010	6,34 ± 0,10	4,25 ± 0,11	5,68 ± 0,16	3,18 ± 0,13
Danuta	к-30889	3,26 ± 0,25	1,67 ± 0,36	2,73 ± 0,15	1,21 ± 0,07
Landrace	к-30349	4,58 ± 0,21	1,96 ± 0,22	3,70 ± 0,11	1,19 ± 0,08
Местный / Local	к-2929	5,34 ± 0,13	3,04 ± 0,23	5,45 ± 0,31	3,11 ± 0,23
Filippa	к-30574	6,04 ± 0,16	3,92 ± 0,12	2,92 ± 0,18	1,27 ± 0,12
Bonita	к-35417	5,67 ± 0,26	3,02 ± 0,20	3,77 ± 0,31	1,07 ± 0,11
Новичок / Novichok	к-30806	4,57 ± 0,21	2,10 ± 0,17	2,81 ± 0,01	0,48 ± 0,02
Белгородский 100, st. / Belgorodsky 100, st.	я-201	6,48 ± 0,26	4,32 ± 0,13	5,98 ± 0,32	3,61 ± 0,31
Haxby	к-31053	6,62 ± 0,18	4,52 ± 0,20	6,17 ± 0,21	3,81 ± 0,24
Сябра / Syabra	к-29917	3,68 ± 0,05	1,59 ± 0,03	2,30 ± 0,17	1,16 ± 0,21
Рейдер / Reyder	я-356	6,00 ± 0,08	4,21 ± 0,09	3,64 ± 0,19	1,72 ± 0,15
Rodos	к-30256	6,25 ± 0,22	3,65 ± 0,20	4,42 ± 0,21	2,22 ± 0,12
Cooper	к-30375	4,51 ± 0,24	2,35 ± 0,12	2,66 ± 0,18	1,13 ± 0,08

Таблица 3. Величины коэффициентов парных корреляций между содержанием пигментов в листьях и содержанием белка в зерне для 28 образцов ярового ячменя**Table 3.** Values of pairwise correlation coefficients between pigment content in leaves and protein content in grain for 28 spring barley accessions

Образец / Accession	Chl a	Chl b	Chl a / Chl b	Chl a + b
<i>Вся выборка (28 сортов) / Entire set (28 cultivars)</i>				
Флаговый лист / Flag leaf	-0,168	-0,171	-0,186	-0,171
Подфлаговый лист / Second leaf	-0,034	-0,035	0,062	-0,035
<i>Сорта, имеющие $b_i > 1,0$ (14 сортов) / Cultivars with $b_i > 1.0$ (14 cultivars)</i>				
Флаговый лист / Flag leaf	0,148	0,104	-0,196	0,128
Подфлаговый лист / Second leaf	0,321	0,275	-0,101	0,304
<i>Сорта, имеющие $b_i < 1,0$ (14 сортов) / Cultivars with $b_i < 1.0$ (14 cultivars)</i>				
Флаговый лист / Flag leaf	-0,643*	-0,638*	0,585*	-0,645*
Подфлаговый лист / Second leaf	-0,447	-0,430	0,372	-0,446

Примечание: * – корреляции статистически значимы при $p \leq 0,05$ Note: * – statistically significant correlations at $p \leq 0.05$

содержание белка = $17,36 - 0,627 \times$ содержание Chl a;
содержание белка = $16,11 - 0,677 \times$ содержание Chl b;
содержание белка = $16,79 - 0,330 \times$ суммарное содержание Chl;

содержание белка = $10,34 + 2,030 \times$ соотношение Chl a/b.

Таким образом, эти уравнения показывают, что с повышением содержания хлорофилла на 1 мг/г сухой массы листа содержание белка в зерне уменьшится на 0,627% (для Chl a); на 0,677% (для Chl b) и на 0,330% (для суммарного хлорофилла). С повышением соотношения

Chl a/b на единицу содержание белка, наоборот, возрастет на 2,030%.

Высокими показателями натурности зерна, достоверно превышающими стандарт 'Белгородский 100', характеризовались генотипы '752A', 'Landrace', местный (к-5983), местный (к-3506), местный (к-2929), местный (к-2930), 'Makbo', 'Наран', 'Щедрый'. Показатель натурной массы у образца 'Orthege' (651,4 г/л) был значительно ниже, чем у стандартного сорта. Кроме этого, недостаточной натурной массой обладали генотипы 'Filipra' (665,2 г/л) и 'Полярный 14' (666,0 г/л) (табл. 4).

Таблица 4. Натурная масса и выравненность зерна образцов ярового ячменя (2018–2020, г. Киров)**Table 4.** Test weight and grain uniformity in spring barley accessions (2018–2020, Kirov)

Образец / Accession	№ по каталогу / Catalogue No.	Натурная масса, г/л / Test weight, g/L	Выравненность, % / Uniformity, %
Белгородский 100, st. / Belgorodsky 100, st.	я-201	678,3	94,7
Новичок / Novichok	к-30806	693,8	92,0
Crusades	я-52	671,0	93,2
Cooper	к-30375	673,9	92,2
Sultan	к-19798	678,9	93,8
Mentor	к-30873	686,2	94,7
Danuta	к-30889	651,4	94,1
752A	я-4	800,0	11,6

Таблица 4. Окончание

Table 4. The end

Образец / Accession	№ по каталогу / Catalogue No.	Натурная масса, г/л / Test weight, g/L	Выравненность, % / Uniformity, %
Filippa	к-30574	665,3	92,4
Bonita	к-35417	699,4	93,0
NCL 95098	к-35415	683,8	91,9
Landrace	к-30349	811,4	72,2
Haxby	к-31053	696,5	93,9
Местный / Local	к-5983	806,2	27,6
Местный / Local	к-3506	762,6	40,6
Местный / Local	к-2929	810,3	73,3
Местный / Local	к-2930	821,4	73,0
Makbo	к-5210	809,0	61,6
Одесский 115 / Odessky 115	к-29010	697,0	90,1
Mie	к-30379	686,6	95,3
Сябра / Syabra	к-29917	680,2	97,4
Полярный 14 / Polyarny 14	к-15619	666,0	86,0
Наран / Naran	к-30892	702,4	94,0
Казьминский / Kazminsky	к-30926	674,0	89,9
Щедрый / Shchedry	к-31046	709,9	88,2
Рейдер / Reyder	я-356	691,7	93,2
Rodos	к-30256	700,2	97,5
Orthega	к-30468	749,8	54,7
НСР ₀₅		21,7	9,7

На уровне стандарта по показателю «выравненность» находились образцы 'Новичок', 'Crusades', 'Cooper', 'Sultan', 'Mentor', 'Danuta', 'Filippa', 'Bonita', 'NCL 95098', 'Haxby', 'Одесский 115', 'Mie', 'Сябра', 'Полярный 14', 'Наран', 'Казьминский', 'Щедрый', 'Рейдер' (см. табл. 4).

При выборе исходного материала ячменя для селекции на качество зерна большое значение имеет отбор образцов, которые характеризуются не только высоким содержанием белка, но и высокой урожайностью, устойчивостью к полеганию, а также имеют меньшую продолжительность вегетационного периода. Высокобелковые

генотипы значительно различались между собой по уровню урожайности – от 255 до 465 г/м², коэффициент вариации составил 23,7% (табл. 5).

Выделенные высокобелковые коллекционные образцы имели практически одинаковую продолжительность вегетационного периода, вариабельность составила всего 2,1%. Фактическая продолжительность периода «всходы – созревание» изменялась в среднем за три года исследований от 72 до 77 дней. Это позволило отнести выделившиеся высокобелковые образцы к группе среднеспелых.

Таблица 5. Характеристика высокобелковых коллекционных образцов ярового ячменя (2018–2020 гг., г. Киров)**Table 5. Characteristics of high-protein spring barley accessions (2018–2020, Kirov)**

Образец / Accession	№ по каталогу / Catalogue No.	Урожайность, г/м ² / Yield, g/m ²	Продолжитель- ность вегета- ционного пе- риода, дни / Growing season duration, days	Устойчивость к полеганию, балл / Lodging re- sistance, score
Белгородский 100, st. / Belgorodsky 100, st.	я-201	463	74	8,9
Crusades	я-52	343	77	8,5
752A	я-4	276	73	5,6
Filippa	к-30574	431	76	8,9
NCL 95098	к-35415	375	75	9,0
Landrace	к-30349	227	73	5,8
Местный / Local	к-5983	296	73	5,8
Местный / Local	к-3506	276	75	5,9
Местный / Local	к-2929	280	73	5,7
Местный / Local	к-2930	283	73	5,3
Makbo	к-5210	255	72	5,1
Rodos	к-30256	465	76	8,4
Полярный 14 / Polyarny 14	к-15619	314	73	7,5
Наран / Naran	к-30892	407	73	8,5
НСР ₀₅ / LSD ₀₅		42	3	–

В то же время эти генотипы значительно отличались по устойчивости к полеганию, которая варьировала от средней (5,1 балла у образца 'Makbo') до очень высокой (9,0 баллов у образца 'NCL 95098'), коэффициент вариации – 22,2%. Пять генотипов имели устойчивость выше 8,5 баллов: 'Crusades', 'Filippa', 'NCL 95098', 'Rodos' и 'Наран'.

Заключение

В проведенном трехлетнем исследовании на примере 28 генотипов ярового ячменя содержание белка в зерновке в значительной степени определялось климатическими условиями года. Установлена статистически значимая (при $p \leq 0,05$) корреляция содержания белка с показателями: количество осадков ($r = 0,67$), сумма эффективных температур ($r = 0,75$), гидротермический коэффициент ($r = 0,76$) за весь вегетационный период; сумма эффективных температур ($r = 0,62$) и количество осадков ($r = 0,74$) за межфазный период «колошение – созревание». Ухудшение погодных условий в период вегетации приводит к снижению величины содержания белка в зерне изученных генотипов при одновременном усилении ее вариабельности.

За весь период исследований высокое содержание белка отмечено у генотипов 'Landrace' (к-30349), местный (к-2929), местный (к-2930) и 'Makbo' (к-5210).

Выделены образцы, обладающие высокой пластичностью по показателю «содержание белка» – 'Полярный 14' (к-15619), 'Mie' (к-30379) и 'Щедрый' (к-31046). Стабильно высоким содержанием белка в зерне отличался образец местный (к-5983).

Вариабельность величин содержания *Chl b* в листьях почти вдвое превышала вариабельность содержания *Chl a*, что делает этот показатель более пригодным для оценки межсортных различий, особенно при анализе подфлагового листа. В целом для исследуемой выборки содержание белка в зерне не имело значимых корреляций с содержанием и соотношением пигментов в листьях; однако для сортов, имеющих b , ниже единицы, коэффициенты парных корреляций были статистически значимы и составили для *Chl a* и *Chl b* во флаговом листе –0,643 и –0,638 соответственно; для соотношения *Chl a/b* $r = 0,585$; для суммы хлорофиллов во флаговом листе $r = -0,645$. Для сортов ярового ячменя экстенсивного типа возможен следующий прогноз: с повышением содержания хлорофилла во флаговом листе в фазу цветения на 1 мг/г сухой массы листа содержание белка в зерне уменьшится на 0,63% (для *Chl a*), на 0,68% (для *Chl b*) и на 0,33% (для суммарного хлорофилла). С повышением соотношения *Chl a/b* на единицу содержание белка, наоборот, возрастет на 2,03%.

Высокими показателями натуры зерна, достоверно превышающими стандарт 'Белгородский 100' (я-201), ха-

рактизовались образцы '752A' (я-4), местный (к-5983), местный (к-3506), местный (к-2929), местный (к-2930), 'Makbo', 'Наран' (к-30892) и 'Щедрый'.

Высокобелковые генотипы значительно отличались по устойчивости к полеганию ($CV = 22,2\%$), величина которой варьировала от 5,1 до 9,0 баллов. Образцы 'Crusades' (я-52), 'Filippa' (к-30574), 'NCL 95098' (к-35415), 'Rodos' (к-30256) и 'Наран' показали высокую степень устойчивости (выше 8,5 баллов).

Коллекционные образцы 'Filippa' и 'Rodos', имеющие урожайность на уровне стандарта 'Белгородский 100' и высокую устойчивость к полеганию, являются перспективными для использования в селекции высокобелковых сортов ячменя.

References / Литература

- Abdurakhmanov O.X., Rajabov A.N., Barakaev N.R. Signs of quality of local grain varieties and methods for their determination. *Bulletin of the Agrarian Science of Uzbekistan*. 2019;4(78):99-102. [in Russian] (Абдурахманов О.Х., Ражабов А.Н., Баракаев Н.Р. Признаки качества местных сортов зерна и методы их определения. *Вестник аграрной науки Узбекистана*. 2019;78(4):99-102).
- Aranguren M., Castellón A., Aizpurua A. Wheat grain protein content under Mediterranean conditions measured with chlorophyll meter. *Plants*. 2021;10(2):374. DOI: 10.3390/plants10020374
- Deivasigamani S., Swaminathan C. Evaluation of seed test weight on major field crops. *International Journal of Research Studies in Agricultural Sciences*. 2018;4(1):8-11. DOI: 10.20431/2454-6224.0401002
- 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
- Ghassemi-Golezani K., Mousavi S.A. Improving physiological performance and grain yield of maize by salicylic acid treatment under drought stress. *Journal of Plant Physiology and Breeding*. 2022;12(2):1-10. DOI: 10.22034/jppb.2022.16041
- 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 Middle 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).
- Gorpinchenko T.V. Assessment of the quality of crop varieties as raw materials for processing (Otsenka kachestva sortov selskokhozyaystvennykh kultur kak syrya dlya pererabotki). Moscow: Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy; 2008. [in Russian] (Горпинченко Т.В. Оценка качества сортов сельскохозяйственных культур как сырья для переработки. Москва: РГАУ – МСХА имени К.А. Тимирязева; 2008).
- GOST 10840-64. Interstate standard. Grain. Methods for determination of hectolitre weight. Moscow: Standartinform; 2009. [in Russian] (ГОСТ 10840-64. Меж-
- государственный стандарт. Зерно. Методы определения натуры. Москва: Стандартинформ; 2009). URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200023848> [дата обращения: 17.10.2023].
- Gubanova V.M., Gubanov M.V. Technological and biochemical characteristics of grain of chaffy and hullless barley in the Northern Zauralie. *Perm Agrarian Journal*. 2018;4(24):47-52. [in Russian] (Губанова В.М., Губанов М.В. Технологические и биохимические характеристики зерна пленчатого и голозерного ячменя в условиях Северного Зауралья. *Пермский аграрный вестник*. 2018;4(24):47-52).
- 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
- Hansen P.M., Jørgensen J.R., Thomsen A. Predicting grain yield and protein content in winter wheat and spring barley using repeated canopy reflectance measurements and partial least squares regression. *The Journal of Agricultural Science*. 2002;139(3):307-318. DOI: 10.1017/S0021859602002320
- Hoel B.O. Chlorophyll meter readings in winter wheat: cultivar differences and prediction of grain protein content. *Acta Agriculturae Scandinavica, Section B – Soil and Plant Science*. 2002;52(4):147-157. DOI: 10.1080/090647103100004843
- 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
- Javed A., Ahmad N., Ahmed J., Hameed A., Ashraf M.A., Zafar A.S. et al. Grain yield, chlorophyll and protein contents of elite wheat genotypes under drought stress. *Journal of King Saud University – Science*. 2022;34(7):102279. DOI: 10.1016/j.jksus.2022.102279
- 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; in English] (Лекеш Я., Бареш И., Форал А., Одигнал И., Ружичка Ф., Бобек М., Трофимовская А., Лукьянова М., Корнейчук В., Ильина Н., Ярош Н. Международный классификатор СЭВ рода *Hordeum*. Ленинград: ВИР; 1983).
- Lichtenthaler H.K., Buschmann C. Chlorophylls and carotenoids: measurement and characterization by UV-VIS spectroscopy. In: R.E. Wrolstad, T.E. Acree, H. An, E.A. Decker, M.H. Penner, D.S. Reid, S.J. Schwartz, C.F. Shoemaker, P. Sporns (eds). *Current Protocols in Food Analytical Chemistry*. New York, NY: John Wiley and Sons; 2001. F4.3.1-F4.3.8. DOI: 10.1002/0471142913.faf0403s01
- Liu L., Sun G., Ren X., Li C., Sun D. Identification of QTL underlying physiological and morphological traits of flag leaf in barley. *BMC Genetics*. 2015;16:29. DOI: 10.1186/s12863-015-0187-y
- López-Bellido R.J., Shepherd C.E., Barraclough P.B. Predicting post-anthesis N requirements of bread wheat with Minolta SPAD meter. *European Journal of Agronomy*. 2004;20(3):313-320. DOI: 10.1016/S1161-0301(03)00025-X
- Loskutov I.G., Kovaleva O.N., Blinova E.V. Guidelines for the study and preservation of the world collection of barley and oats (Metodicheskiye ukazaniya po izucheniyu i sokhraneniyu mirovoy kollektsii yachmenya i ovsa). St. Petersburg: VIR; 2012. [in Russian] (Лоскутов И.Г., Ковалева О.Н., Блинова Е.В. Методические указания по

- изучению и сохранению мировой коллекции ячменя и овса. Санкт-Петербург: ВИР; 2012).
- Malkanduyev H.A., Malkanduyeva A.H., Shamurzayev R.I., Bazgiyev M.A. Influence of sowing time on productivity and quality of grain of the winter wheat. *Innovations and Food Safety*. 2018;(3):93-97. [in Russian] (Малкандуев Х.А., Малкандуева А.Х., Шамурзаев Р.И., Базгиев М.А. Влияние сроков посева на урожайность и качество зерна озимой пшеницы. *Инновации и продовольственная безопасность*. 2018;(3):93-97). DOI: 10.31677/2311-0651-2018-0-3-93-97
- Nayak D.K., Sahoo S., Barik S.R., Sanghamitra P., Sangeeta S., Pandit E. et al. Association mapping for protein, total soluble sugars, starch, amylose and chlorophyll content in rice. *BMC Plant Biology*. 2022;22:620. DOI: 10.1186/s12870-022-04015-8
- Noskova Ye.N., Zaytseva I.Yu., Lisitsyn Ye.M. The possibility of using leaf pigment content parameters for spring barley breeding. *Bulletin of Altai State Agricultural University*. 2019;6(176):22-26. [in Russian] (Носкова Е.Н., Зайцева И.Ю., Лисицын Е.М. Пригодность параметров содержания пигментов в листьях для селекции ярового ячменя. *Вестник Алтайского государственного аграрного университета*. 2019;6(176):22-26).
- Opanasyuk I.V., Belkina R.I. Barley cultivar grain quality and the factors which determine it in the Northern Zauralye conditions. *The Bulletin of KrasGAU*. 2012;3(66):63-66. [in Russian] (Опанасюк И.В., Белкина Р.И. Качество зерна сортов ячменя и факторы, определяющие его в условиях Северного Зауралья. *Вестник КрасГАУ*. 2012;3(66):63-66).
- Peltonen J., Virtanen A., Helenius J., Salopelto J., Kittilä K., Eloranta E. Determination of barley nitrogen status with chlorophyll meter for high β -amylase in grains. *Agricultural and Food Science*. 1995;4(5-6):495-501. DOI: 10.23986/afsci.72625
- 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).
- Racz I., Hirişcău D., Berindean I., Kadar R., Muntean E., Tritean N. et al. The influence of flag leaf removal and its characteristics on main yield components and yield quality indices on wheat. *Agronomy*. 2022;12(10):2545. DOI: 10.3390/agronomy12102545
- Radyukevich T.N., Bondareva L.M., Lashina N.M. Study of spring barley collection for the aims of selection in the North-West of Russia. *Izvestiya Saint-Petersburg State Agrarian University*. 2019;(55):16-22. [in Russian] (Радюкевич Т.Н., Бондарева Л.М., Лашина Н.М. Изучение коллекции ярового ячменя для целей селекции на северо-западе России. *Известия Санкт-Петербургского государственного аграрного университета*. 2019;(55):16-22). DOI: 10.24411/2078-1318-2019-12016
- Shchennikova I.N., Kokina L.P. Perspectives of barley breeding for the conditions of the Volgo-Vyatka region (analytical review). *Agricultural Science Euro-North-East*. 2021;22(1):21-31. [in Russian] (Щенникова И.Н., Кокина Л.П. Перспективы селекции ячменя для условий Волго-Вятского региона (аналитический обзор). *Аграрная наука Евро-Северо-Востока*. 2021;22(1):21-31). DOI: 10.30766/2072-9081.2021.22.1.21-31
- 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).
- Tetyannikov N.V., Bome N.A. Barley genetic resources of barley and their use in breeding: a monograph (Geneticheskiye resursy yachmenya i ikh ispolzovaniye v selektsii: monografiya). Moscow: Federal Horticultural Center for Breeding, Agrotechnology and Nursery; 2022. [in Russian] (Тетяников Н.В., Боме Н.А. Генетические ресурсы ячменя и их использование в селекции: монография. Москва: Федеральный научный селекционно-технологический центр садоводства и питомниководства; 2022).
- Tofiq S., Haseeb S., Ahmad K., Hama S.J. Response of grain yield and its components to organic matter and removal of some photosynthetic organs of durum wheat (*Triticum aestivum* L.) in two years of Sulaimani-Iraq region. *International Journal of Plant, Animal and Environmental Sciences*. 2015;5:134-140.
- Wang Z.J., Wang J.H., Liu L.Y., Huang W.J., Zhao C.J., Wang C.Z. Prediction of grain protein content in winter wheat (*Triticum aestivum* L.) using plant pigment ratio (PPR). *Field Crops Research*. 2004;90(2-3):311-321. DOI: 10.1016/j.fcr.2004.04.004
- 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).
- Zykin V.A., Belan I.A., Yusov V.S., Kiraev R.S., Chanyshev I.O. Environmental plasticity of agricultural plants (methods and assessment) (Ekologicheskaya plastichnost selskokhozyaystvennykh rasteniy [metodika i otsenka]). 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).

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>

Евгений Михайлович Лисицын, доктор биологических наук, заведующий отделом, Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока им. Н.В. Рудницкого, 610007 Россия, Киров, ул. Ленина, 166а, edaphic@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-3125-3604>

Information about the authors

Irina Yu. Zayseva, 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 RAS, 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>

Eugene M. Lisitsyn, Dr. Sci. (Biology), Head of a Department, Federal Agricultural Research Center of the North-East named N.V. Rudnitsky, 166a Lenina St., Kirov 610007, Russia, edaphic@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-3125-3604>

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 27.12.2023; одобрена после рецензирования 10.04.2024; принята к публикации 05.06.2024.
The article was submitted on 27.12.2023; approved after reviewing on 10.04.2024; accepted for publication on 05.06.2024.