



ИЗУЧЕНИЕ СЕЛЕКЦИОННЫХ ФОРМ ПОЛБЫ (*TRITICUM DICOCCUM* (SCHRANK) SCHUEBL.)

✉ Стёпочкин П.И.

Сибирский научно-исследовательский институт растениеводства и селекции – филиал Федерального исследовательского центра «Институт цитологии и генетики Сибирского отделения Российской академии наук»

Новосибирская область, р.п. Краснообск, Россия

✉ e-mail: petstep@ngs.ru

Представлены результаты изучения хозяйственно полезных признаков растений селекционных линий полбы (*Triticum dicoccum* (Schr.) Schuebl.) полуголозерной с фиолетовой окраской перикарпа зерна. Изучали семь селекционных линий F_9 , созданных двухступенчатой гибридизацией фиолетовозерной твердой пшеницы с голозерной и безостой полбами, и пять селекционных образцов полуголозерной полбы. В полевых опытах отбирали растения по селекционно ценным признакам. С 2020 по 2022 г. проводили фенологические наблюдения, структурный анализ и оценивали количественные признаки растений селекционных форм полбы с фиолетовой окраской зерна. Двухфакторный дисперсионный анализ показал существенные факторы – селекционные линии и годы изучения. В процессе изучения выявлено, что для дальнейшей селекционной работы ценность представляют линии полбы, несущие сочетание хозяйственно важных признаков. Короткостебельная фиолетовозерная форма 27-1 устойчива к полеганию, вымолачиваемость зерна – 80%, масса 1000 зерен – 34–37 г. Линия 27-12 обладает зерном с фиолетовой окраской, высоким показателем натуры зерна около 800 г/л и хорошей для двухзернянки продуктивностью зерна, достигающей 400 г/м². Фиолетовозерная линия полбы 31-16 обладает хорошей кустистостью (3–4 шт.), коротким стеблем (71–74 см), высокими показателями устойчивости к полеганию (4–5 баллов) и вымолачиваемости зерна (80%). С 2021 по 2022 г. такие же исследования проводили с полуголозерной полбой из коллекции Всероссийского института генетических ресурсов растений им. Н.И. Вавилова (ВИР). Выделена селекционная линия полбы 41/14 по высокому показателю вымолоченных зерен (85%). Основными недостатками созданных форм пшеницы двузернянки с фиолетовоокрашенными зернами пока остаются относительно невысокий урожай зерна, недостаточно прочный колосовой стержень, неполная вымолачиваемость зерновки из цветковых и колосковых чешуй. Однако дальнейшей селекционной работой можно добиться улучшения этих признаков, а также повышение урожайности зерна, массы 1000 зерен и более полное освобождение зерновки из чешуй при молотье.

Ключевые слова: полба, гибрид, селекционная линия, признак

STUDY OF THE BREEDING FORMS OF EMMER WHEAT (*TRITICUM DICOCCUM* (SCHRANK) SCHUEBL.)

✉ Stepochkin P.I.

Siberian Research Institute of Plant Production and Breeding - Branch of the Federal Research Center «Institute of Cytology and Genetics, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences»

Krasnoobsk, Novosibirsk region, Russia

✉ e-mail: petstep@ngs.ru

The results of the study of economically useful features of the plants of the semi-naked emmer wheat breeding lines (*Triticum dicoccum* (Schr.) Schuebl.) with purple pericarp coloring of grain

are presented. Seven breeding lines F₉, created by two-step hybridization of the purple-grain durum wheat with naked and awnless emmer, and five breeding samples of semi-naked emmer wheat were studied. In the field experiments, plants were selected for selection valuable traits. Phenological observations, structural analysis, and evaluation of the quantitative traits of the plants of emmer wheat breeding forms with purple grain coloration were carried out from 2020 to 2022. Two-way analysis of variance showed significant factors - the breeding lines and the years of study. In the course of the study, it was found that for further breeding work, emmer wheat lines carrying a combination of economically important traits are of value. Short-stalked purple-grain form 27-1 is resistant to lodging, the yield of the grain - 80%, the weight of 1000 grains - 34-37 g. Line 27-12 has grains with purple color, high grain-unit value of about 800 g/l and good grain productivity for emmer wheat reaching 400 g/m². Purple emmer line 31-16 has a good bushiness (3-4 pieces), short stalk (71-74 cm), high lodging resistance (4-5 points) and grain threshing capacity (80%). From 2021 to 2022, the same studies were conducted with emmer wheat from the collection of the N.I. Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources (VIR). The selection line of emmer wheat 41/14 was distinguished by the high indicator of threshed grains (85%). The main disadvantages of the established forms of emmer wheat with purple-colored grains still remain relatively low grain yield, insufficiently strong ear shank, not complete grinding of the grain from the flowering glumes and husks. However, further breeding work can improve these traits, as well as increase the grain yield, the weight of 1000 grains and a more complete release of the grain from the chaff during threshing.

Keywords: emmer wheat, hybrid, breeding line, trait

Для цитирования: Стёпочкин П.И. Изучение селекционных форм полбы (*Triticum dicoccum* (Schrank) Schuebl.) // Сибирский вестник сельскохозяйственной науки. 2023. Т. 53. № 7. С. 22-30. <https://doi.org/10.26898/0370-8799-2023-7-3>

For citation: Stepochkin P.I. Study of the breeding forms of emmer wheat (*Triticum dicoccum* (Schrank) Schuebl.) *Sibirskii vestnik sel'skokhozyaistvennoi nauki* = *Siberian Herald of Agricultural Science*, 2023, vol. 53, no. 7, pp. 22-30. <https://doi.org/10.26898/0370-8799-2023-7-3>

Конфликт интересов

Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interest

The author declares no conflict of interest.

Благодарность

Работа поддержана бюджетными проектами ИЦиГ СО РАН № FWNR-2022-0018. Автор благодарит за предоставленный материал Е.И. Гордееву.

Acknowledgments

This work was supported by the IC&G budget projects № FWNR-2022-0018. The author thanks E.I. Gordееva for the presented material.

ВВЕДЕНИЕ

Большое внимание селекционеры европейских стран отводят программам создания сортов злаковых культур для функционального питания цельным зерном. К ним относится полба (*Triticum dicoccum* (Schrank) Schuebl.), или двузернянка. Зерно полбы используют в основном для варения каш. Эта культура обладает такими ценными питательными компонентами, как пищевые волокна и антиоксидантные вещества. В ее зерне больше,

чем в зерне мягкой пшеницы, полезных для здоровья людей антиоксидантов¹.

Зерно двузернянки трудно отделяется от пленки, что является неблагоприятным фактором для практического использования. Селекционеры в настоящее время создают сорта, зерновка которых легко отделяется от колосковой и цветковой пленок. В России в этом направлении получен голозерный сорт полбы Греммэ².

В связи с этим предложено относить такие голозерные формы двузернянки к новому

¹Lachman J., Orsak M., Pivec V., Jiru K. Antioxidant activity of grain of einkorn (*Triticum monococcum* L.), emmer (*Triticum dicoccum* Schuebl [Schrank]) and spring wheat (*Triticum aestivum* L.) varieties // Plant soil environment. 2012. Vol. 58. N 1. P. 15-21.

²Темирбекова С., Ионов Э., Иконова Н., Афанасьева Ю. Спелта озимая и яровая // Аграрное обозрение. 2014. № 6 (46). С. 40-42.

подвиду – *Triticum dicoccon* (Schrank) Schuebl. subsp. *Nudicoccon* Kobyl. et Smekal. [1].

Главное стремление селекционеров состоит в создании сортов, хорошо адаптированных к местным условиям среды и с максимальной питательной ценностью [2]. Не последнюю роль в повышении питательной ценности сельскохозяйственной культуры играют вторичные метаболиты, связанные с окраской зерна злаков. Некоторые злаки имеют окрашенное зерно, которое содержит значительное количество антоцианов во внешних слоях. Они обладают высокой антиоксидантной активностью в зерне риса с окрашенным перикарпом [3]. Использование ингредиентов из цельного зерна таких злаков является стратегией для производства функциональных продуктов питания [4]. Окраска зерновки у злаков определяется антоцианами – природными антиоксидантами, относящимся к классу флавоноидных соединений (флавоноиды)³.

Они являются водорастворимыми фенольными пигментами растений [5]. Большой объем знаний накоплен по генетике их биосинтеза у ячменя [6]. В зависимости от локализации данных соединений в зерне и их химической формулы окраска зерновки может быть красной, голубой и фиолетовой. Фиолетовая окраска зерна обусловлена антоциановыми соединениями, локализованными в перикарпе⁴.

У пшеницы с темной окраской зерна антоцианы играют защитную регуляторную роль против биотических и абиотических стрессов [7].

Флавоноиды очень важны для здоровья человека. Они играют положительную роль при лечении и профилактике таких заболеваний, как сердечно-сосудистые, артриты, различные виды рака, болезнь Альцгеймера, сахарный диабет второго типа и ожирение⁵.

Они регулируют холестерольный метаболизм [8] и сдерживают процесс ожирения [9].

В связи с этим злаки с окрашенным зерном представляют интерес в плане использования для функционального питания. Однако сорта пшеницы, обладающие высоким содержанием антиоксидантов в зерне, встречаются редко, в России они не возделываются. Это свойство особенно важно придать двузернянке, зерно которой в основном используется для варения каш. Кроме того, получение форм полбы с зерном, которое легко отделяется от чешуй, также актуально для хозяйственного использования.

Цель исследований – оценить по хозяйственно полезным признакам новых селекционных линий полбы с фиолетовой окраской зерна, а также полуголозерных форм с обычной окраской зерна.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

В работе использовали пять полуголозерных селекционных линий полбы (*Triticum dicoccum* (Schrank) Schuebl.), созданных В.Д. Кобылянским во Всероссийском институте генетических ресурсов растений им. Н.И. Вавилова (ВИР), и семь фиолетовозерных линий, полученных из популяций гибридов F_2 от сложных скрещиваний, проведенных Е.И. Гордеевой с использованием метода маркер-ориентированной селекции [10] в Институте цитологии и генетики СО РАН. В происхождении фиолетовозерных линий участвовали голозерная полба Гремме, безостая полба к-25516 (из мировой коллекции ВИР) и пшеница Tri15744 (донор фиолетовой окраски перикарпа зерна). Полуголозерные формы полбы гибридного происхождения (35 шт.) созданы сотрудником ВИР В.Д. Кобылянским в 2017 г. Большинство из них в процессе дальнейшей селекционной работы были забракованы из-за длительного вегетационного периода и ломкости колоса. За последующие годы изучения к 2021 г. отобраны и включены в опыт пять константных линий. Одним из основных признаков при подборе

³Prochazkova D., Bousova I., Wilhelmova N. Antioxidant and prooxidant properties of flavonoids // Fitoterapia. 2011. Vol. 82. P. 513–523.

⁴Knievel D.C., Abdel-Aal E.M., Rabalski I., Nakamura T., Hucl P. Grain color development and the inheritance of high anthocyanin blue aleurone and purple pericarp in spring wheat (*Triticum aestivum* L.) // Journal of Cereal Science. 2009. Vol. 50. P. 113–120.

⁵Pojer E., Mattivi F., Johnson D., Stockley C.S. The Case for Anthocyanin Consumption to Promote Human Health // A Review of Comparative Reviews in Food Sciences. 2013. N 12. P. 483–508.

этих форм для опыта был выход голых зерен при обмолоте растений не менее 40%. В опыт также не включены формы с длительным вегетационным периодом. Посев за все годы изучения проводили в I декаде мая вручную на паровом поле на участке каждый на площади делянки 0,25 м² в четырехкратной повторности с нормой высева 75 всхожих зерен на один погонный метр. В качестве стандартов использованы сорт Гремме и коллекционный образец к-25516. В 2020 г. посевы в конце мая были частично повреждены насекомыми-вредителями. К концу вегетации растений в 2020 г. проходили кратковременные ливневые дожди, что сказалось на полеглости растений. В 2021, 2022 гг. условия для роста и развития растений были более благоприятными.

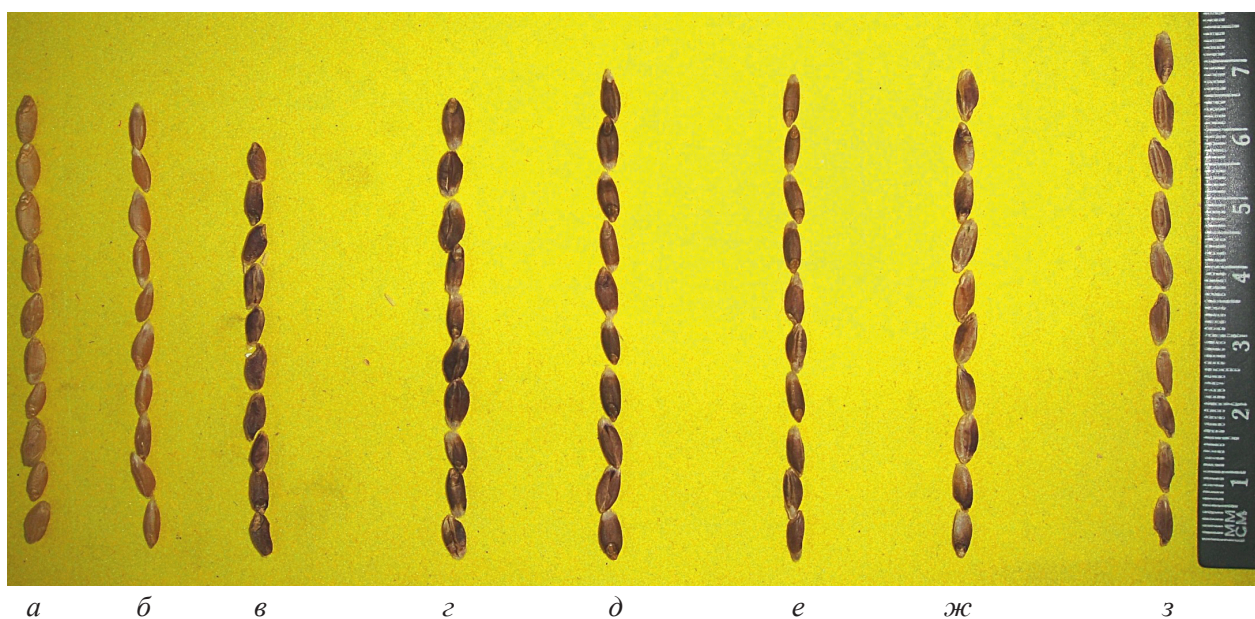
В процессе структурного анализа растений полбы использовали ранее опубликованный метод определения натуры зерна [11]. Обмолот колосьев проводили колосковой мо-

лотилкой МК1. Статистическую обработку результатов отдельно фиолетовозерных форм и полуголозерных форм, полученных из ВИР, проводили согласно методике с помощью двухфакторного дисперсионного анализа и *t*-критерия Стьюдента⁶.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

В популяциях девяти фиолетовозерных форм культуры не обнаружено появления растений с отсутствием этого признака зерна. В пределах каждой фиолетовоокрашенной линии в старших поколениях (с седьмого по девятое) отмечена гомогенность по этому признаку. Данный факт позволяет считать, что у изучаемых форм высокая степень гомозиготности по этим генам. Однако сами линии различались по интенсивности окрашивания зерна (см. рисунок).

Все фиолетовозерные селекционные формы за годы изучения показали высокую



Семена родительских форм фиолетовозерной полбы:

а – голозерная полба Гремме; б – безостая полба к-25516; в – фиолетовозерная пшеница Tri15744. Семена фиолетовозерных линий гибридов: г – среднестебельная 27-3; д – низкостебельная 31-16; е – длинностебельная 27-12; ж – низкостебельная 27-1; з – низкостебельная 31-20

Seeds of the parent forms of the purple colored grain emmer wheat:

а – naked emmer wheat Gremme; б – awnless emmer k-25516; в – purple-colored grain wheat Tri15744. Seeds of the purple-colored emmer lines: г – mid-stemmed 27-3; д – low-stemmed 31-16; е – long-stemmed 27-12; ж – low-stemmed 27-1; з – low-stemmed 31-20

⁶Доспехов Б.А. Методика полевого опыта с основами статистической обработки результатов исследований. М., 1985.

устойчивость к заболеваниям. Полуголозерные селекционные формы, полученные из ВИР, поражались незначительно (0–2 балла по 5-балльной оценке) мучнистой росой и бурой ржавчиной. Септориозом в небольшой степени поражались все растения полбы.

Почти у всех изученных форм полбы, кроме сорта Греммэ, колосовой стержень довольно хрупкий и ломкий, что в полевых условиях приводит к потере урожая зерна при перестое растений в фазе зрелости и при уборке. Поэтому уборку растений проводили сразу после достижения полной спелости зерна.

Двухфакторным дисперсионным анализом фиолетовозерных форм, проведенным по пяти количественным признакам, выявлены существенные факторы. На проявление таких признаков, как длина соломины и урожайность зерна, оказывали существенное влияние следующие факторы: «селекционные линии», «годы изучения» – и (на грани достоверности) «взаимодействие» этих двух

факторов. Фактор «селекционные линии» отмечен существенным для всех пяти признаков. Фактор «годы изучения» был несущественным для проявления натуры зерна, доли вымолоченных растений и массы 1000 зерен. Их наименьшая существенная разница (НСР) не превышала табличное значение (см. табл. 1).

Аналогичным образом проведен двухфакторный дисперсионный анализ по тем же признакам у полуголозерных форм полбы, созданных в ВИР. Существенным был только один фактор – «селекционные линии». Фактор «годы изучения» не был существенным, и НСР не превышала табличное значение.

Полученные результаты по дисперсионному анализу позволяют выявлять достоверные отличия изученных признаков по наименьшей существенной разнице и при парном сравнении, используя ошибки средних. В таблице 2 представлены данные по семи признакам у семи фиолетовозерных и пяти полуголозерных селекционных форм полбы.

Табл. 1. Результаты двухфакторного дисперсионного анализа пяти количественных признаков семи фиолетовозерных (2020–2022 гг.) и пяти полуголозерных селекционных форм полбы (2021, 2022 гг.), Новосибирск

Table 1. The results of the two factor variance analysis of five quantitative traits of seven violet grain (2020–2022 years) and five semi-naked grain breeding emmer forms (2021, 2022 years), Novosibirsk

Наименование	Длина соломины, см	Доля вымолоченных зерен, %	Натура зерна, г/л	Масса 1000 зерен, г	Урожайность, г/м ²
<i>Фиолетовозерные</i>					
$F_{\text{факт}} \text{ годы } (F_{05} = 3,09)$	9,85	1,14	0,09	2,34	13,9
Размах средних значений всех линий в каждый год	81,2 ... –85,3	68,7 ... –72,5	746,0 ... –747,6	30,2 ... –31,1	315,6 ... –365,0
НСР ₀₅ годы	2,01	5,8	7,15	0,93	20,6
$F_{\text{факт}} \text{ линии } (F_{05} = 2,19)$	115,8	6,74	41,2	19,3	14,3
Размах средних значений каждой линии за все годы	72,8 ... –102,2	64,0 ... –79,7	722,5 ... –793,4	27,8 ... –33,1	286,6 ... –384,0
НСР ₀₅ линии	3,08	8,9	10,9	1,42	31,5
<i>Полуголозерные</i>					
$F_{\text{факт}} \text{ годы } (F_{05} = 3,94)$	1,45	1,96	0,19	0,26	1,42
Размах средних значений всех линий в каждый год	102,1 ... –104,2	60,6 ... –65,1	744,6 ... –747,0	26,2 ... –27,6	296,5 ... –308,0
НСР ₀₅ годы	3,39	6,4	11,08	1,29	19,3
$F_{\text{факт}} \text{ линии } (F_{05} = 2,46)$	10,11	16,6	2,54	6,06	15,23
Размах средних значений каждой линии за все годы	95,9 ... –109,9	46,3 ... –83,5	739,3 ... –763,1	24,6 ... –28,0	257,1 ... –345,9
НСР ₀₅ линии	5,36	10,1	17,5	2,04	30,5

Табл. 2. Показатели признаков семи фиолетовозерных (2020–2022 гг.) и пяти полуголозерных селекционных форм полбы (2021, 2022 гг.), Новосибирск

Table 2. Indexes of characteristics of seven violet grain (2020–2022 years) and five semi-naked grain breeding emmer forms (2021, 2022 years), Novosibirsk

Название полбы	Год изучения	Число продуктивных стеблей, шт.	Длина соломины, см	Доля вымолоченных зерен, %	Натура зерна, г/л	Масса 1000 зерен, г	Урожайность, г/м ²	Устойчивость к полеганию, балл
Греммэ, стандарт	2020	2,1 ± 0,2	106,6 ± 2,6	94,6 ± 3,7	766 ± 9	42,3 ± 2,2	492 ± 71	2
	2021	2,2 ± 0,3	104,3 ± 3,9	97,5 ± 1,4	757 ± 11	38,4 ± 4,6	455 ± 25	2
	2022	2,3 ± 0,3	105,9 ± 3,5	98,9 ± 0,1	762 ± 15	40,7 ± 2,8	497 ± 31	3
к-25516, стандарт	2020	2,5 ± 0,3	104,7 ± 3,3	14,7 ± 1,9	768 ± 7	35,4 ± 1,1	368 ± 38	2
	2021	2,3 ± 0,4	105,3 ± 3,1	13,6 ± 3,4	753 ± 14	33,6 ± 0,8	370 ± 36	2,5
	2022	2,6 ± 0,5	107,8 ± 4,1	11,7 ± 3,3	776 ± 10	33,8 ± 0,9	438 ± 22	3
<i>Фиолетовозерные</i>								
31-16	2020	3,1 ± 0,7	71,0 ± 2,6**	74,4 ± 14,3	715 ± 15*	28,9 ± 3,5	332 ± 34	4
	2021	3,9 ± 0,8	73,3 ± 3,9**	82,4 ± 7,9	778 ± 15	32,4 ± 1,1	359 ± 44	4,5
	2022	4,1 ± 0,7	74,6 ± 5,3**	73,8 ± 8,6	758 ± 14	32,5 ± 1,0	375 ± 20	5
31-19	2020	1,7 ± 0,3	71,3 ± 2,1**	86,9 ± 7,3	716 ± 16*	27,4 ± 3,4	275 ± 41*	3
	2021	1,8 ± 0,3	72,1 ± 2,3**	75,1 ± 17,2	720 ± 15	28,3 ± 3,1	291 ± 56*	3,5
	2022	1,6 ± 0,4	75,0 ± 3,6**	72,6 ± 11	734 ± 15	29,6 ± 1,4	316 ± 18*	3,5
31-20	2020	1,8 ± 0,3	70,8 ± 2,1**	73,8 ± 11,0	719 ± 15*	27,0 ± 2,3*	267 ± 30*	3
	2021	1,9 ± 0,3	71,4 ± 2,1**	69,1 ± 11,5	723 ± 17	28,6 ± 2,2	298 ± 36*	4
	2022	1,8 ± 0,4	78,3 ± 3,6**	62,7 ± 7,0	726 ± 13*	27,6 ± 0,9	309 ± 25*	3,5
27-1	2020	2,1 ± 0,5	75,6 ± 2,9**	53,3 ± 11,0	791 ± 17	37,9 ± 2,6	389 ± 25	3
	2021	2,1 ± 0,4	76,1 ± 2,9**	80,5 ± 7,9	719 ± 19	33,6 ± 1,8	330 ± 19*	4
	2022	1,9 ± 0,4	79,9 ± 3,9*	76,4 ± 8,0	740 ± 17	34,4 ± 3,1	323 ± 21*	3,5
27-3	2020	2,5 ± 0,4	85,4 ± 3,1**	46,5 ± 10,0	724 ± 12	29,6 ± 3,9	304 ± 28	2
	2021	2,7 ± 0,5	86,6 ± 2,9*	74,8 ± 8,5	768 ± 17	32,4 ± 2,1	370 ± 63	3,5
	2022	3,1 ± 0,5	88,4 ± 2,0*	75,3 ± 10,0	754 ± 14	35,4 ± 0,9	455 ± 25	3,5
27-12	2020	2,2 ± 0,3	95,5 ± 4,4	58,2 ± 6,5	802 ± 13	31,2 ± 2,2	364 ± 50	2
	2021	2,4 ± 0,3	103,3 ± 4,8	61,6 ± 5,6	796 ± 10*	32,2 ± 2,0	338 ± 33	3
	2022	2,1 ± 0,5	107,9 ± 5,6	58,0 ± 11	782 ± 12	34,5 ± 1,5	449 ± 26	3
28-12	2020	2,3 ± 0,5	98,7 ± 5,4	52,7 ± 8,3	722 ± 29	29,0 ± 2,3	272 ± 38*	2
	2021	2,5 ± 0,6	89,0 ± 6,2	52,7 ± 8,3	743 ± 15	29,7 ± 3,6	260 ± 55*	2,5
	2022	2,3 ± 0,5	92,9 ± 6,0	62,1 ± 11	729 ± 13*	28,6 ± 2,0	327 ± 51	3,5
<i>Полуголозерные</i>								
53/15	2021	1,7 ± 0,3	94,5 ± 4,7	41,5 ± 13,4	767 ± 16	26,2 ± 1,4*	258 ± 26*	3
	2022	1,5 ± 0,4	97,3 ± 5,9	51,2 ± 5,6	735 ± 20	25,4 ± 2,5*	264 ± 28*	4
41/14	2021	2,0 ± 0,4	101,7 ± 4,0	85,3 ± 4,4	745 ± 11	28,9 ± 2,7	300 ± 13*	3
	2022	2,3 ± 0,5	104,5 ± 5,7	81,7 ± 6,5	742 ± 17	28,2 ± 1,6	313 ± 33	3
50/15	2021	2,5 ± 0,4	108,5 ± 5,5	50,0 ± 8,9	751 ± 16	25,2 ± 1,5*	347 ± 30	2,5
	2022	2,7 ± 0,7	111,3 ± 5,9	56,8 ± 11,2	736 ± 25	23,9 ± 1,2*	345 ± 46	3
57/14	2021	2,3 ± 0,3	99,7 ± 5,1	57,9 ± 10,5	753 ± 20	24,8 ± 2,9*	260 ± 29*	3
	2022	2,6 ± 0,7	97,5 ± 5,7	63,4 ± 8,5	773 ± 9	25,2 ± 1,3*	254 ± 21	4
38/15	2021	2,6 ± 0,6	106,3 ± 5,9	68,5 ± 10,0	742 ± 22	27,6 ± 2,2*	317 ± 44	2
	2022	2,3 ± 0,7	110,3 ± 7,3	72,7 ± 14,8	737 ± 17	28,4 ± 1,7	363 ± 51	3

Примечание. Достоверные отличия от лучшего стандарта в год изучения:

* $p < 0.05$;

** $p < 0.01$.

Доля вымолоченных зерновок, хотя и не достигавшая уровня голозерной полбы Греммэ, но превышавшая 80%, отмечена за 2 года изучения у полуголозерного селекционного образца 41/14. Один раз в 3 года показатель 80% превзошли фиолетовозерные селекционные формы 31-16, 31-19 и 27-1.

По массе 1000 зерен ни одна из изученных форм в год изучения достоверно не превзошла лучший по этому признаку стандарт – голозерный сорт Греммэ. За 3 года изучения из всех селекционных форм лучшие показатели этого признака были у фиолетовозерных 27-1, 27-3 и 27-12. Селекционный образец 27-1 обладал наивысшим значением признака в 2020 г. ($37,9 \pm 2,6$ г) и в 2021 г. ($34,4 \pm 3,1$ г). В 2022 г. самая большая масса 1000 зерен была у формы 27-3, равная $35,4 \pm 0,9$ г. Высокие показатели натуры зерна за 3 года изучения отмечены у фиолетовозерной линии гибрида 27-12. В 2021 г. ее значение натуры зерна (796 ± 10 г/л) достоверно превысило значение этого признака у лучшего стандарта. Наивысшее значение натуры зерна (802 ± 13 г/л) достигнуто в 2020 г. Наибольшие показатели зерновой продуктивности из всех изученных селекционных образцов достигли в 2022 г. фиолетовозерные формы 27-12 (449 ± 26 г/м²) и 27-3 (455 ± 25 г/м²). У стандарта Греммэ значение этого признака в этом году было 497 ± 31 г/м². В предыдущие 2 года изучения урожайность этого сорта была выше 450 г/м². Изученные формы полегли в разной степени. Наибольший показатель устойчивости к полеганию (4–5 баллов) по 5-балльной шкале за 3 года имела короткостебельная линия 31-16. Она же обладала и повышенной кустистостью (3–4 шт.) в сравнении с другими формами. Линии, полученные из ВИР, большой селекционной ценности не представляют. В целом, фиолетовозерные линии оказались более перспективными для дальнейшей селекционной работы.

Среди изученных нами форм по фенотипу к виду *Triticum dicoccum* (Schränk) Schuebl., то есть к двузернянке, можно отнести образец из мировой коллекции ВИР к-25516, линии гибридов 27-1, 27-12, 31-16, полученные из ВИР селекционные формы 53/15 и 50/15,

колоски которых содержат по 2 зерна. У остальных форм, в том числе у сорта Греммэ, в колосках нередко завязывалось 3, а иногда даже и 4 зерна, что характерно для *Triticum durum* L. Тем не менее, Греммэ признан как голозерный сорт полбы, который предложено относить к новому подвиду двузернянки – *Triticum dicoccon* (Schränk) Schuebl. subsp. *Nudicoccon* Kobyl. et Smekal. [1]. В настоящее время важный признак сорта Греммэ – голозерность – нашим селекционным формам не передан, так как основной акцент на первом этапе создания селекционного материала был сделан на получение растений с фиолетовой окраской зерна.

Селекционеры всех стран пытаются производить сорта, обладающие высокой питательной ценностью и хорошей приспособленностью к локальным условиям среды [2]. Создаваемые формы полбы соответствуют этим направлениям в селекции и предлагаются к использованию для функционального питания.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В процессе изучения выявлено, что для дальнейшей селекционной работы ценность представляют линии полбы, несущие сочетание хозяйственно важных признаков. Короткостебельная фиолетовозерная форма 27-1 устойчива к полеганию, с вымолачиваемостью зерна, достигающей 80%, и с массой 1000 зерен 34–37 г. Линия 27–12 обладает зерном с фиолетовой окраской, высоким показателем натуры зерна (около 800 г/л) и хорошей для двузернянки продуктивностью зерна (400 г/м²). Фиолетовозерная линия полбы 31-16 обладает хорошей кустистостью (3–4 шт.), коротким стеблем (71–74 см), высокой устойчивостью к полеганию (4–5 баллов) и вымолачиваемостью зерна, достигающей 80%. Из полуголозерных форм полбы, полученных из ВИР, выделена селекционная линия 41/14 по высокому показателю вымолоченных зерен (85%). Основными недостатками созданных селекционных форм полбы пока остаются относительно невысокий урожай зерна, недостаточно прочный колосовой стержень, неполная вымолачиваемость зер-

новки из цветковых и колосковых пленок. Однако дальнейшей селекционной работой можно добиться улучшения этих признаков.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Смекалова Т.Н., Кобылянский В.Д. Новый подвид пшеницы *T. dicoccon* Schrank subsp. *nudicoccon* Kobyl. et Smekal // Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции. 2019. № 180 (4). С. 148–151. DOI: 10.30901/2227-8834-2019-4-148-151.
2. Lap B., Rai M., Tyagi W., Lap B. Playing with colours: genetics and regulatory mechanisms for anthocyanin pathway in cereals // Biotechnology Genetics Engineering Review. 2021. Vol. 37. N 1. P. 1–29. DOI: 10.1080/02648725.2021.1928991.
3. Зеленская О.В., Зеленский Г.Л., Остапенко Н.В., Туманьян Н.Г. Генетические ресурсы риса (*Oryza sativa* L.) с окрашенным перикарпом зерна // Вавиловский журнал генетики и селекции. 2018. № 22 (3). С. 296–303. DOI: 10.18699/VJ18.363.
4. Francavilla A., Joye I.J. Anthocyanins in Whole Grain Cereals and Their Potential Effect on Health // Nutrients. 2020. N 12. P. 1–20. DOI: 10.3390/nul2102922.
5. Rodrigues-Amaya D.B. Update on natural food pigments – a mini-review on carotenoids, anthocyanins, and betalains // Food Research International. 2019. № 124. P. 200–205. DOI: 10.1016/j.foodres.2018.05.028.
6. Шоева О.Ю., Стрыгина К.В., Хлесткина Е.К. Гены, контролирующие синтез флавоноидных и меланиновых пигментов ячменя // Вавиловский журнал генетики и селекции. 2018. № 22 (3). С. 333–342. DOI: 10.18699/VJ18.369.
7. Wang F., Dong Y.X., Tang X.Z., Tu T.L., Zhao B., Sui N., Zhang X.S. Comparative transcriptome analysis revealing the effect of light on anthocyanin biosynthesis in purple grains of wheat // Journal of agricultural and food chemistry. 2018. Vol. 66. N 13. P. 3465–3476.
8. Wang H., Liu D., Ji Y., Liu Y., Xu L., Guo Y. Dietary Supplementation of Black Rice Anthocyanin Extract Regulates Cholesterol Metabolism and improves Gut microbiota Disbiosis in C57BL/6/ Mice Fed a High-Fat and Cholesterol Diet. // Molecular Nutrition Food Research. 2020. N 64. P. 1–13. DOI: 10.1002/mnfr.201900876.
9. Sharma S., Khare P., Kumat A., Chundury V., Kumar A., Kapoor P., Kondepudy K.K., Bish-

noi M., Garg M. Anthocyanin-Biofortified Colored Wheat Prevents High Fat Diet-Induced Alterations in Mice: Nutrigenomic Studies // Molecular Nutrition Food Research. 2020. N 64. P.1–12. DOI: 10.1002/mnfr.201900999.

10. Gordeeva E., Shamanin V., Shoeva O., Kukoeva T., Morgunov A., Khlestkina E. The strategy for marker-assisted breeding of anthocyanin-rich spring bread wheat (*Triticum aestivum* L.) cultivars in Western Siberia // Agronomy. 2020. Vol. 10. N 10. P. 1603. DOI: 10.3390/agronomy10101603.
11. Стёпочкина Н.И., Стёпочкин П.И. Использование микропушки при определении натуры зерна отдельных растений // Достижения науки и техники АПК. 2015. Т. 19. № 11. С. 39–40.

REFERENCES

1. Smekalova T.N., Kobylansky V.D. A new subspecies of wheat: *Triticum dicoccon* (Schrank) Schuebl. subsp. *nudicoccon* Kobyl. et Smekal. *Trudy po prikladnoi botanike, genetike i seleksii* = *Proceedings on Applied Botany, Genetics and Breeding*, 2019, no. 180 (4), pp. 148–151. (In Russian). DOI: 10.30901/2227-8834-2019-4-148-151.
2. Lap B., Rai M., Tyagi W., Lap B. Playing with colours: genetics and regulatory mechanisms for anthocyanin pathway in cereals. *Biotechnology Genetics Engineering Review*, 2021, vol. 37, no. 1, pp. 1–29. DOI: 10.1080/02648725.2021.1928991.
3. Zelenskaya O.V., Zelensky G.L., Ostapenko N.V., Tumanyan N.G. Genetic resources of rice (*Oryza sativa* L.) with colored pericarp. *Vavilovski zhurnal genetiki i seleksii* = *Vavilov Journal of Genetics and Breeding*, 2018, no.22 (3), pp. 296–303. (In Russian). DOI: 10.18699/VJ18.363.
4. Francavilla A., Joye I.J. Anthocyanins in Whole Grain Cereals and Their Potential Effect on Health. *Nutrients*. 2020, no. 12, pp. 1–20. DOI: 10.3390/nul2102922.
5. Rodrigues-Amaya D.B. Update on natural food pigments – a mini-review on carotenoids, anthocyanins, and betalains. *Food Research International*, 2019, no. 124, pp. 200–205. DOI: 10.1016/j.foodres.2018.05.028.
6. Shoeva O.Yu., Strygina K.V., Khlestkina E.K. Genes determining the synthesis of flavonoid and melanin pigments in barley. *Vavilovski zhurnal genetiki i seleksii* = *Vavilov Journal of Ge-*

- netics and Breeding*. 2018, vol. 22 (3), pp. 333–342. (In Russian). DOI: 10.18699/VJ18.369.
7. Wang F., Dong Y.X., Tang X.Z., Tu T.L., Zhao B., Sui N., Zhang X.S. Comparative transcriptome analysis revealing the effect of light on anthocyanin biosynthesis in purple grains of wheat. *Journal of agricultural and food chemistry*, 2018, vol. 66, no. 13, pp. 3465–3476.
 8. Wang H., Liu D., Ji Y., Liu Y., Xu L., Guo Y. Dietary Supplementation of Black Rice Anthocyanin Extract Regulates Cholesterol Metabolism and improves Gut microbiota Disbiosis in C57BL/6/ Mice Fed a High-Fat and Cholesterol Diet. *Molecular Nutrition Food Research*, 2020, no. 64, pp. 1–13. DOI: 10.1002/mnfr.201900876.
 9. Sharma S., Khare P., Kumat A., Chundury V., Kumar A., Kapoor P., Kondepudy K.K., Bishnoi M., Garg M. Anthocyanin-Biofortified Colored Wheat Prevents High Fat Diet-Induced Alterations in Mice: Nutrigenomic Studies. *Molecular Nutrition Food Research*, 2020, no. 64, pp. 1–12. DOI: 10.1002/mnfr.201900999.
 10. Gordeeva E., Shamanin V., Shoeva O., Kukoeva T., Morgunov A., Khlestkina E. The strategy for marker-assisted breeding of anthocyanin-rich spring bread wheat (*Triticum aestivum* L.) cultivars in Western Siberia. *Agronomy*, 2020, no. 10, no. 10, pp. 1603. DOI: 10.3390/agronomy10101603.
 11. Stepochkina N.I., Stepochkin P.I. Use of microchondrometer for determination of grain nature of single plants of triticale and wheat. *Dostizheniya nauki i tekhniki APK = Achievements of Science and Technology of AIC*, 2015, vol. 29, no. 11, pp. 39–40. (In Russian).

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРЕ

✉ **Стёпочкин П.И.**, доктор сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник; **адрес для переписки:** Россия, 630501, Новосибирская область, р.п. Краснообск, а/я 375; e-mail: petstep@ngs.ru

AUTHOR INFORMATION

✉ **Pyotr I. Stepochkin**, Doctor of Science in Agriculture, Lead Researcher; **address:** PO Box 375, Krasnoobsk, Novosibirsk Region, 630501, Russia; e-mail: petstep@ngs.ru

Дата поступления статьи / Received by the editors 31.10.2022
Дата принятия к публикации / Accepted for publication 10.01.2023
Дата публикации / Published 21.08.2023