

## **СЕЛЕКЦИЯ И СЕМЕНОВОДСТВО СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ РАСТЕНИЙ**

УДК 633.112.1"321":631.524.7

DOI: 10.31367/2079-8725-2019-66-6-37-40

### **РЕЗУЛЬТАТЫ СЕЛЕКЦИИ ТВЁРДОЙ ПШЕНИЦЫ В РОССИИ НА СОДЕРЖАНИЕ КАРОТИНОИДНЫХ ПИГМЕНТОВ В ЗЕРНЕ**

**М. Г. Мясникова**<sup>1</sup>, кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник лаборатории селекции твердой пшеницы, ORCID ID: 0000-0002-7224-0308;

**П. Н. Мальчиков**<sup>1</sup>, доктор сельскохозяйственных наук, главный научный сотрудник лаборатории селекции твердой пшеницы, ORCID ID: 0000-0002-2141-6836;

**Е. Н. Шаболкина**<sup>1</sup>, кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник лаборатории технологического сервиса, ORCID ID: 0000-0003-1090-4399;

**Н. В. Анисимкина**<sup>1</sup>, научный сотрудник, лаборатории технологического сервиса, ORCID ID: 0000-0001-5129-7797;

**М. А. Розова**<sup>2</sup>, кандидат сельскохозяйственных наук, зав. лабораторией селекции твердой пшеницы, ORCID ID: 0000-0002-0119-5693;

**Т. В. Чахеева**<sup>1</sup>, научный сотрудник лаборатории селекции твердой пшеницы, ORCID ID: 0000-0002-9328-473X

<sup>1</sup>Самарский НИИСХ, Филиал ФИЦ «Самарский научный Центр РАН», 446254, Самарская обл., Безенчукский р-н, п. г. т. Безенчук, ул. К. Маркса, 41; e-mail: sagrs-mal@mail.ru;

<sup>2</sup>ФГБНУ Федеральный научный центр агробиотехнологий Алтая (ФАНЦА), 656910, Алтайский край, г. Барнаул, Научный городок, 35; e-mail: mrosova@yandex.ru

Концентрация каротиноидных пигментов в зерне твердой пшеницы определяет до 30,0% качества конечной продукции. Цель исследований – анализ результатов селекционного улучшения по этому признаку яровой твердой пшеницы в России по этапам селекции и селекционным центрам. Изучение проведено на основе сортов 4–7-х этапов селекции в 11 средовых комплексах (год, пункт) в 2014–2018 гг. Изучено 29 генотипов. Площадь делянки – 5,0–10,0 м<sup>2</sup>, повторность – трехкратная. Определение концентрации желтых пигментов в зерне проведено путем их экстрагирования сатурированным н-бутанолом и последующим фотоколметрированием при длине волн 440–450 нм. В результате установлено значительное увеличение концентрации каротиноидов в зерне у лучших генотипов в основных центрах селекции этой культуры в России (+25–70,0% к уровню сорта 4-го этапа селекции – Харьковской 46). Лучшими были сорта Безенчукская золотистая, Безенчукская крепость, Безенчукская 210 (Самарский НИИСХ), Саратовская золотистая (НИИСХ Юго-Востока) и селекционные линии Гордиформе 677 (ФГБНУ ФАНЦА), Д2098 (НИИСХ Юго-Востока) и 1368Д-18 (Самарский НИИСХ). Эти генотипы рекомендуется использовать в качестве исходного материала в селекции и для создания рекомбинантных инбредных линий с целью маркирования QTL, контролирующих синтез каротиноидов в зерне твердой пшеницы и организации на этой основе маркер-ассоциированной технологии селекции.

**Ключевые слова:** пшеница твердая, сорт, селекция, этап селекции, зерно, каротиноиды.

**Для цитирования:** Мясникова М. Г., Мальчиков П. Н., Шаболкина Е. Н., Анисимкина Н. В., Розова М. А., Чахеева Т. В.

Результаты селекции твердой пшеницы в России на содержание каротиноидных пигментов в зерне // Зерновое хозяйство России. 2019. № 6(66). С. 37–40. DOI: 10.31367/2079-8725-2019-66-6-37-40.



### **THE RESULTS OF DURUM WHEAT BREEDING IN RUSSIA FOR CAROTENOID PIGMENTS CONTENT IN KERNELS**

**M. G. Myasnikova**<sup>1</sup>, Candidate of Agricultural Sciences, leading researcher of the laboratory of durum wheat breeding, ORCID ID: 0000-0002-7224-0308;

**P. N. Malchikov**<sup>1</sup>, Doctor of Agricultural Sciences, main researcher of the laboratory of durum wheat breeding, ORCID ID: 0000-0002-2141-6836;

**E. N. Shabolkina**<sup>1</sup>, Candidate of Agricultural Sciences, leading researcher of the technological and analytical service, ORCID ID: 0000-0003-1090-4399;

**N. V. Anisimkina**<sup>1</sup>, senior researcher of the technological and analytical service, ORCID ID: 0000-0001-5129-7797;

**M. A. Rozova**<sup>2</sup>, Candidate of Agricultural Sciences, head of the laboratory of durum wheat breeding, ORCID ID: 0000-0002-0119-5693;

**T. V. Chakheeva**<sup>1</sup>, researcher of the laboratory of durum wheat breeding, ORCID ID: 0000-0002-9328-473X

<sup>1</sup>“Samarsky Research Institute of Agriculture named after N. M. Tulaykov”, affiliate of the FRC “Samara Research Center RAS”,

446254, Samara region, Bezebchuksky district, v. of Bezenchuk, Karl Marks Str., 41; e-mail: sagrs-mal@mail.ru;

<sup>2</sup>Federal Research Center of Altay Agrobiological (FRCAA),

656910, Altay Area, Barnaul, Nauchny Gorodok, 35; e-mail: mrosova@yandex.ru

The concentration of carotenoid pigments in durum wheat kernels determines up to 30.0% of the quality of the final product. The purpose of the current study is to analyze the results of breeding improvement of spring durum wheat according to this trait in Russia, at all breeding stages. There was conducted the study based on the varieties of 4–7 stages of breeding in 11 environmental complexes (year, point) in 2014–2018. There were studied 29 genotypes. The plot area was 5.0–10.0 m<sup>2</sup> with a 3-fold repetition.

The concentration of yellow pigments in kernels was identified by extracting them with saturated n-butanol and with a subsequent photo-colorimetry at a wavelength of 440 ... 450 nm. As a result, there was established a significant increase in the concentration of carotenoids in kernels of the best genotypes in the main breeding Russian centers (+25–70.0% to the variety of 4-th stage of breeding "Kharkovsky 46"). The best varieties were "Bezenchukskaya zolotistaya", "Bezenchukskaya krepost", "Bezenchukskaya 210" (Samara RIA), "Saratovskaya zolotistaya" (RIA of the South-East) and the breeding lines "Gordeiforme 677" (FGBNU FANTSA), "D2098" (RIA of the South-East) and "1368D-18" (Samara RIA). These genotypes are recommended to be used as initial material in breeding and for the development of recombinant inbred lines for marking QTL that control the synthesis of carotenoids in durum wheat kernels and organize a marker-associated breeding technology on this basis.

**Keywords:** durum wheat, variety, breeding process, stage of breeding, kernels, carotenoids.

**Введение.** В процессе селекции идет непрерывное увеличение содержания каротиноидов в зерне, крупке и макаронных изделиях из твердой пшеницы (Васильчук и др., 2009; Мальчиков, диссертация на соискание ученой степени д-ра с.-х. наук, 2009; N'Diaye et al., 2017). Созданный при этом генетический материал является наиболее целесообразным объектом для идентификации QTL и их маркирования. Все результаты исследований по генетике и возможностям маркер-ассоциированной селекции (МАС) на содержание каротиноидов в зерне твердой пшеницы, доступные в литературе, получены в научных учреждениях Канады, Италии, США, CIMMYT и Австралии. В этих странах применение технологий МАС в селекции сортов с высоким индексом желтизны (содержание каротиноидов) является эффективным методом (N'Diaye et al., 2017). Непосредственное применение этих технологий в селекционных лабораториях России в процедурах МАС возможно, но только при условии использования в качестве доноров в исходном материале сортов иностранной селекции, у которых молекулярные маркеры соответствующих QT являются по результатам валидации эффективными в региональных селекционных центрах России. Однако и в этом случае могут возникать проблемы преодоления недостаточной адаптивности привлекательных в качестве исходного материала генотипов. Стратегия увеличения концентрации пигментов в зерне и продуктах его переработки в России, безусловно, должна использовать генетический материал и молекулярные технологии отбора, разработанные в зарубежных центрах, но базироваться она должна на отечественном исходном материале и адаптированных к нему технологиях маркер-ассоциированной селекции. В настоящее время в России во всех лабораториях, осуществляющих селекцию на увеличение концентрации каротиноидов в зерне, семялине и конечных продуктах, применяются методы традиционной селекции. При этом за период научной селекции яровой твердой пшеницы эти признаки были значительно улучшены.

В связи с этим целью исследований, результаты которых легли в основу данной публикации, заключалась в оценке величины произошедших изменений признака по этапам селекции в различных селекци-

онных центрах России и идентификации генотипов с высоким содержанием каротиноидных пигментов в зерне, то есть несущих соответствующие QTL, с последующим их маркированием и формированием технологий не только традиционной, но и маркер-ассоциированной селекции с использованием отечественного исходного материала.

**Материалы и методы исследований.** Изучали 29 сортов и современных селекционных линий. Сорта представляли 4–7-е этапы селекции в России (СССР), начиная с исторических сортов 4–5-х этапов (Харьковская 46 и Безенчукская 139 соответственно). Шестой этап селекции включал группу сортов, имеющих в настоящее время коммерческое значение (Безенчукская 182, Саратовская золотистая, Жемчужина Сибири, Алтайская нива, Алтайский янтарь, Омский корунд). Седьмой этап представляли современные сорта: Безенчукская степная, Безенчукская 205, Краснокутка 13, Донская элегия, Безенчукская нива, Безенчукская 209, Безенчукская 210, Безенчукская золотистая, Безенчукская крепость, Луч 25, Памяти Янченко, Солнечная 573, Оазис, Омский изумруд. Изучены также селекционные линии из НИИСХ Юго-Востока (Д2098, 98с-08), Алтайского НИИСХ (Гордеiforme 677), Самарского НИИСХ (Золотая, 1368д-18, 1477д-14). Полевые эксперименты проведены в Самарском НИИСХ (п. г. т. Безенчук) в 2014–2018 гг., ЗАО «Курган – семена» (г. Курган) в 2014–2015 гг., ФГБНУ ФАНЦА – Алтайский НИИСХ (г. Барнаул) в 2014–2016 гг., Актыбинской СХОС (Кзахстан) в 2016 г. Делянки с учетной площадью 10,0 м<sup>2</sup> размещали рандомизировано в трех блоках в соответствии с правилами методики полевого эксперимента (Доспехов, 1979). Содержание каротиноидов в зерне определяли в лаборатории технологического сервиса ФГБНУ «Самарский НИИСХ» путем их экстрагирования сатурированным н-бутанолом и последующим фотоколориметрированием при длине волн 440–450 нм.

**Результаты и их обсуждение.** Полученные в 11 разнообразных условиях среды данные показывают, что в основных регионах, ведущих селекцию твердой пшеницы в России (Поволжье, Сибирь), отмечается увеличение концентрации каротиноидных пигментов в зерне создаваемых сортов (табл. 1).

**1. Изменение содержания каротиноидных пигментов в зерне сортов твердой пшеницы (мкг %) в процессе селекции в России на 4–7-х этапах по результатам эколого-географического изучения в пунктах: Безенчук, Курган, Барнаул, Актыбинск (2014–2018 гг.)**

**1. Change of carotenoid pigments content in kernels of the durum wheat varieties (µg %) during breeding process in Russia at 4–7 stages according to the results of ecological and geographical studies in such locations as Bezenchuk, Kurgan, Barnaul, Aktyubinsk (2014–2018)**

Сорт	Годы											Среднее по эксперименту	
	2014			2015			2016			2017	2018		
	Без	Кур	Бар	Без	Кур	Бар	Без	Акт	Бар	Без	Без	мкг %	% к X 46
<b>Четвертый этап селекции</b>													
X 46	266	316	250	291	431	507	496	474	453	507	496	<b>408</b>	<b>100</b>
<b>Пятый этап селекции</b>													
Б 139	225	299	225	237	410	377	439	442	410	377	474	<b>356</b>	<b>87</b>

Шестой этап селекции													
Б 182	283	299	274	237	388	474	453	388	431	367	367	360	88
СЗ	349	516	416	367	615	647	733	647	625	539	647	554	136
ЖС	308	449	366	334	561	582	625	539	539	550	496	486	119
АН	216	250	200	226	369	399	377	399	399	388	334	323	79
АЯ	241	296	215	302	442	453	410	410	431	436	410	368	90
ОК	379	434	353	367	552	625	615	507	571	578	517	500	123
–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	<b>432</b>	<b>106</b>
Седьмой этап селекции													
БС	399	466	341	399	571	625	733	625	561	528	604	532	130
Б 205	349	516	349	334	539	593	647	871	561	550	561	534	131
Кк 13	266	233	233	237	356	345	431	431	334	356	453	334	82
ДЭ	266	283	250	259	356	399	453	388	388	410	388	349	86
БН	383	391	349	377	561	625	690	582	539	507	582	508	125
Б 209	308	299	250	237	388	420	474	442	431	464	399	374	92
Б 210	416	408	349	399	636	604	690	615	604	571	<b>561</b>	532	130
БЗ	516	636	474	496	776	895	884	776	679	733	765	694	170
Л 25	341	383	283	313	464	496	561	464	474	442	604	438	107
СА	299	349	258	313	420	442	517	442	431	636	431	413	101
ПЯ	308	316	299	291	420	496	571	496	464	431	561	423	104
ОИ	358	374	283	334	636	561	615	550	561	473	496	476	117
С 573	324	266	283	345	313	474	636	453	561	464	517	421	103
Оазис	347	402	320	367	520	550	593	474	550	474	485	462	113
БК	432	582	416	474	776	679	798	755	712	657	604	626	153
–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	<b>474</b>	<b>116</b>
Современные селекционные линии													
Д2098	399	416	366	334	561	604	690	571	550	539	582	510	<b>125</b>
98с08	432	457	383	367	571	668	798	581	647	571	604	553	<b>136</b>
Г 677	383	541	366	474	679	625	744	712	679	625	561	581	<b>142</b>
З	374	391	358	388	517	593	615	604	604	593	431	497	<b>122</b>
1368Д-18	399	549	349	420	625	647	668	625	668	615	550	556	<b>136</b>
												539	<b>132</b>
НСР <sub>0,05</sub>	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	51	

Сокращения: Х 46 – Харьковская 46; Б 139 – Безенчукская 139; Б 182 – Безенчукская 182; СЗ – Саратовская золотистая; ЖС – Жемчужина Сибири; АН – Алтайская нива; АЯ – Алтайский янтарь; ОК – Омский корунд; БС – Безенчукская степная; Кк – Краснокутка; ДЭ – Донская элегия; БН – Безенчукская нива; БЗ – Безенчукская золотистая; Л 25 – Луч 25; СА – Салют Алтай; ПЯ – Памяти Янченко; ОИ – Омский изумруд; С 573 – Солнечная 573; БК – Безенчукская крепость; З – Золотая; Без – Безенчук; Кур – Курган; Бар – Барнаул; Акт – Актюбинск.

Только на 5-м этапе селекции при сравнении Безенчукской 139 и Харьковской 46 отмечено снижение содержания каротиноидных пигментов в зерне. Группа генотипов «современные селекционные линии» в среднем превысила уровень Харьковской 46 на 32,0%. Это соответствует аналогичному показателю лучшего сорта 6-го этапа селекции твердой пшеницы в России – Саратовской золотистой. Среди сортов шестого этапа кроме Саратовской золотистой выделились по результатам эксперимента Жемчужина Сибири и Омский корунд. Беспорным лидером не только среди сортов седьмого этапа, но и в целом в эксперименте по содержанию каротиноидных пигментов является Безенчукская золотистая. Результаты эксперимента показывают, что создание этого сорта было сопряжено с получением новой (после Саратовской золотистой) значительной по эффекту на исследуемый признак трансгрессии. Преимущество нового сорта за весь цикл исследований над Харьковской 46 составило 70,0%, над Саратовской золотистой – 25,1% при варьировании превосходства над последним сортом по годам и пунктам от 14,0 до 47,6%. Промежуточное положение

между Безенчукской золотистой и Саратовской золотистой занял сорт Безенчукская крепость. Среди сортов седьмого этапа селекции в нашем эксперименте уровень Саратовской золотистой показали сорта Безенчукская степная, Безенчукская 205, Безенчукская 210, Безенчукская нива.

**Выводы.** Современные коммерческие сорта и селекционные линии представляют результат эффективной селекции в России на увеличение концентрации каротиноидных пигментов в зерне твердой пшеницы за последние 25–30 лет. Лучшие из них Безенчукская золотистая, Безенчукская крепость, Безенчукская 210 (Самарский НИИСХ), Саратовская золотистая (НИИСХ Юго-Востока) и селекционные линии Гордеиформе 677 (ФГБНУ ФАНЦА), Д2098 (НИИСХ Юго-Востока) и 1368Д-18 (Самарский НИИСХ) рекомендуется использовать в качестве исходного материала в селекции и для создания рекомбинантных инбредных линий с целью маркирования QTL, контролирующих уровень концентрации пигментов в зерне и организации на этой основе маркер-ассоциированной технологии селекции.

**Библиографические ссылки**

1. Васильчук Н. С., Гапонов С. Н., Еременко Л. В. и др. Селекция твердой яровой пшеницы на высокое содержание каротиноидов в зерне // Сб. науч. трудов ГНУ НИИСХ Юго-Востока Россельхозакадемии. Саратов, 2009. С. 89–100.
2. Доспехов Б. А. Методика полевого опыта. М.: Колос, 1979. 416 с.
3. N'Diaye A. Single marker and haplotype-based association analysis of semolina and pasta colour in elite durum wheat breeding lines using a high-density consensus map / A. N'Diaye, J. K. Haile, A. T. Cory, F. R. Clarke, J. M. Clarke, R. E. Knox, and C. J. Pozniak // PLoS Onejournal.pone. 2017. 12(1).0170941. DOI: 10.1371/journal.pone.0170941.

**References**

1. Vasil'chuk N. S., Gaponov S. N., Eryomenko L. V. i dr. Selekcija tvyordoj yarovoј pshenicy na vysokoe sodержanie karotinoidov v zerne [Spring durum wheat breeding for a high carotenoids content in kernels] // Sb. науч. trudov GNU NIISKH Yugo-Vostoka Rossel'hozakademii. Saratov, 2009. S. 89–100.
2. Dospekhov B. A. Metodika polevogo opyta [Methodology of a field trial]. M.: Kolos, 1979. 416 s.
3. N'Diaye A. Single marker and haplotype-based association analysis of semolina and pasta colour in elite durum wheat breeding lines using a high-density consensus map / A. N'Diaye, J. K. Haile, A. T. Cory, F. R. Clarke, J. M. Clarke, R. E. Knox, and C. J. Pozniak // PLoS Onejournal.pone. 2017. 12(1).0170941. DOI: 10.1371/journal.pone.0170941.

Поступила: 12.08.19; принята к публикации: 13.09.19.

**Критерии авторства.** Авторы статьи подтверждают, что имеют на статью равные права и несут равную ответственность за плагиат.

**Конфликт интересов.** Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

**Авторский вклад.** Мальчиков П. Н., Мясникова М. Г. – концептуализация исследования; Мясникова М. Г., Шаболкина Е. Н., Анисимкина Н. В., Розова М. Г., Чахеева Т. В. – подготовка опыта; Мясникова М. Г., Шаболкина Е. Н., Анисимкина Н. В., Розова М. Г., Чахеева Т. В. – выполнение полевых/лабораторных опытов и сбор данных; Мальчиков П. Н., Мясникова М. Г. – анализ данных и их интерпретация; Мальчиков П. Н., Мясникова М. Г. – подготовка рукописи.

**Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.**