

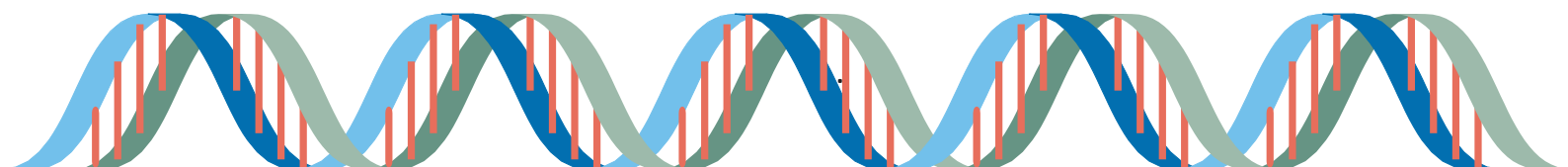
ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт
сельскохозяйственной биотехнологии»



КОНФЕРЕНЦИЯ «ТВЁРДАЯ ПШЕНИЦА: генетика, биотехнология, селекция и семеноводство, технологии выращивания и переработки»

Приуроченная к основному мероприятию
«Биотехнология в растениеводстве, животноводстве и
сельскохозяйственной микробиологии», 14 – 16 ноября 2023 г

СБОРНИК МАТЕРИАЛОВ КОНФЕРЕНЦИИ



В рамках соглашения о создании и развитии центра геномных исследований
мирового уровня «Курчатовский геномный центр»

16 ноября 2023 г.
Москва

ГЕНЕРАЛЬНЫЕ СПОНСОРЫ



ОФИЦИАЛЬНЫЕ СПОНСОРЫ



ОРГАНИЗАЦИОННЫЙ ПАРТНЁР

ООО «НАУЧНЫЙ СЕРВИС»

ИНФОРМАЦИОННЫЕ ПАРТНЁРЫ



Конференция проводится на основании Соглашения от «31» октября 2019 г. № 075-15-2019-1667 о предоставлении из федерального бюджета грантов в форме субсидий в соответствии с пунктом 4 статьи 78.1 Бюджетного кодекса Российской Федерации на осуществление государственной поддержки создания и развития центра геномных исследований мирового уровня «Курчатовский геномный центр» в рамках реализации федерального проекта «Развитие научной и научно-производственной кооперации» национального проекта «Наука»

ВСЕРОССИЙСКИЙ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ
СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОЙ БИОТЕХНОЛОГИИ

**КОНФЕРЕНЦИЯ «ТВЁРДАЯ ПШЕНИЦА: генетика, биотехнология,
селекция и семеноводство, технологии выращивания и
переработки»**

Приуроченная к основному мероприятию «Биотехнология в
растениеводстве, животноводстве и сельскохозяйственной микробиологии»,
14 – 16 ноября 2023 г

16 ноября 2023 г.

Москва – 2023

УДК 663.18(063);606;573.6;57.088

ББК 30.16

Авт.знак Д22

ISBN 978-5-6049173-5-0

«ТВЁРДАЯ ПШЕНИЦА: генетика, биотехнология, селекция и семеноводство, технологии выращивания и переработки»: конференция (Москва, 16 ноября 2023 г., ФГБНУ ВНИИСБ), сборник тезисов докладов. – М.: ФГБНУ ВНИИСБ, 2023. – 46с.

Конференция «ТВЁРДАЯ ПШЕНИЦА: генетика, биотехнология, селекция и семеноводство, технологии выращивания и переработки» проводится как сателлитное мероприятие в рамках ежегодно проводимой конференции молодых ученых «Биотехнология в растениеводстве, животноводстве и сельскохозяйственной микробиологии» Всероссийским научно-исследовательским институтом сельскохозяйственной биотехнологии. В сборник включены тезисы докладов научных работ аспирантов и молодых ученых научно-исследовательских институтов и ВУЗов. Конференция проводится на основании Соглашения от «31» октября 2019 г. № 075-15-2019-1667 о предоставлении из федерального бюджета грантов в форме субсидий в соответствии с пунктом 4 статьи 78.1 Бюджетного кодекса Российской Федерации на осуществление государственной поддержки создания и развития центра геномных исследований мирового уровня «Курчатовский геномный центр» в рамках реализации федерального проекта «Развитие научной и научно-производственной кооперации» национального проекта «Наука». Сборник тезисов представляет интерес для специалистов в области биотехнологии, молекулярной биологии, геномной инженерии, клеточной биологии.

ISBN 978-5-6049173-5-0



© ФГБНУ ВНИИСБ, 2023 г.

Оглавление

НОВЫЙ СОРТ ТУРГИДНОЙ ПШЕНИЦЫ В РОССИИ Афанасьева Ю.В., Темирбекова С.К.	7
СТРЕССОБУСЛОВЛЕННЫЙ ПРОФИЛЬ ЭКСПРЕССИИ МЕТИЛТРАНСФЕРАЗ ЦИТОЗИНА ПШЕНИЦЫ МЯГКОЙ (<i>TRITICUM AESTIVUM</i>) И ТВЁРДОЙ (<i>TRITICUM DURUM</i>) Белова Н.И., Василик М.П., Федореева Л.И.	8
ТВЕРДАЯ ПШЕНИЦА (<i>TRITICUM DURUM</i> DESF.) - ВАЖНЫЙ ИСХОДНЫЙ МАТЕРИАЛ В СЕЛЕКЦИИ МЯГКОЙ (<i>TRITICUM AESTIVUM</i> L.) Беспалова Л.А., Пузырная О.Ю., Агаева Е.В., Новиков А.В., Мудрова А.А.	10
ОПЫТЫ ПО УСКОРЕННОМУ ПРОХОЖДЕНИЮ ЯРОВИЗАЦИИ ДЛЯ ЦЕЛЕЙ SPEED BREEDING (СПИД БРИДИНГА) У ОЗИМОЙ ТВЁРДОЙ ПШЕНИЦЫ Блинков А.О., Бизякина Д.О., Алкубеси М., Крупина А.Ю., Свистунова Н.Ю., Радзениеце С.Б., Канунникова В.Ю., Кочешкова А.А., Карлов Г.И., Дивашук М.Г.	11
РЕЗУЛЬТАТЫ СЕЛЕКЦИИ ЯРОВОЙ ТВЕРДОЙ ПШЕНИЦЫ В ФГБНУ «НЦЗ ИМ. П.П. ЛУКЪЯНЕНКО» Воропаева А.Д., Яновский А.С., Мудрова А.А.	12
ТВЕРДАЯ ПШЕНИЦА (<i>TRITICUM DURUM</i>), РЕЗУЛЬТАТЫ СЕЛЕКЦИИ «ФАНЦ ЮГО-ВОСТОКА» Гапонов С.Н., Шутарева Г.И., Цетва Н.М., Цетва И.С., Милованов И.В., Жиганова Е.С., Соловова Н.С., Бурмистров Н.А.	14
ФОРМИРОВАНИЕ ПРОИЗВОДСТВЕННО-СБЫТОВОЙ ЦЕПОЧКИ ТВЕРДОЙ ПШЕНИЦЫ Гончаров С.В., Долаберидзе С.Д.	16
КАЧЕСТВО ЗЕРНА: ГЕНЕТИЧЕСКИЙ ПОТЕНЦИАЛ СОРТОВ, ПРОИЗВОДСТВЕННАЯ РЕАЛЬНОСТЬ, ПУТИ РЕШЕНИЯ Грошев С.В., Гончаров С.В.	18
РЕЗУЛЬТАТЫ ПРИМЕНЕНИЯ ПРИКЛАДНЫХ ГЕНЕТИЧЕСКИХ ТЕХНОЛОГИЙ В СЕЛЕКЦИИ ТВЕРДОЙ ПШЕНИЦЫ: ЧТО МОЖНО УСПЕТЬ ЗА ТРИ ГОДА? Дивашук М.Г., Коробкова В.А., Ермолаев А.С., Крупина А.Ю., Крупин П.Ю., Беспалова Л.А., Яновский А.С., Кочешкова А.А., Блинков А.О., Воропаева А.Д., Архипов А.В., Мудрова А.А., Карлов Г.И.	20
СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ СЕЛЕКЦИИ ТВЕРДОЙ ЯРОВОЙ ПШЕНИЦЫ В ФГБНУ «ОМСКИЙ АГРАРНЫЙ НАУЧНЫЙ ЦЕНТР» Евдокимов М.Г., Юсов В.С.	21
РАЗРАБОТКА МОЛЕКУЛЯРНЫХ МАРКЕРОВ НА ОСНОВЕ РЕЗУЛЬТАТОВ GWAS ДЛЯ УЛУЧШЕНИЯ ТВЕРДОЙ ПШЕНИЦЫ Ермолаев А.С., Беспалова Л.А., Мудрова А.А., Яновский А.С., Воропаева А.Д., Карлов Г.И., Дивашук М.Г.	24
ИСТОЧНИКИ ХОЗЯЙСТВЕННО-ЦЕННЫХ ПРИЗНАКОВ ОЗИМОЙ ТВЕРДОЙ ПШЕНИЦЫ Иванисова А.С.	25
АЛЛЕЛЬНЫЙ ЛАНДШАФТ ХОЗЯЙСТВЕННО-ЦЕННЫХ ГЕНОВ ТВЁРДОЙ ПШЕНИЦЫ В КОЛЛЕКЦИИ НЦЗ ИМЕНИ П.П. ЛУКЪЯНЕНКО Коробкова В.А., Беспалова Л.А., Яновский А.С., Воропаева А.Д., Архипов А.В., Карлов Г.И., Дивашук М.Г.	27
ВЛИЯНИЕ ЗАПАСНЫХ БЕЛКОВ ТВЕРДОЙ ПШЕНИЦЫ НА КАЧЕСТВО КОНЕЧНОЙ ПРОДУКЦИИ Коробкова В.А., Крупина А.Ю., Назарова Л.А., Крупин П.Ю., Беспалова Л.А., Яновский А.С., Мудрова А.А., Букреева Г.И., Пузырная О.Ю., Агаева Е.В., Воропаева А.Д., Архипов А.В., Ульянов Д.С., Карлов Г.И., Дивашук М.Г.	28

SPEED BREEDING (СПИД БРИДИНГ) ДЛЯ ТВЕРДОЙ ПШЕНИЦЫ – МИФ ИЛИ РЕАЛЬНОСТЬ? Кочешкова А.А., Блинков А.О., Свистунова Н.Ю., Радзениеце С.Б., Алкубеси М., Дивашук М.Г., Карлов Г.И.....	29
РЫНОК ТВЁРДОЙ ПШЕНИЦЫ И ТРЕБОВАНИЯ ПЕРЕРАБАТЫВАЮЩИХ ПРЕДПРИЯТИЙ К ЕЁ КАЧЕСТВУ Курашов М. Ю.	30
ГЕНОТИПИРОВАНИЕ СОРТОВ ПШЕНИЦЫ (<i>TRITICUM AESTIVUM</i> L.) СЕЛЕКЦИИ СЕВЕРО-КАВКАЗСКОГО ФЕДЕРАЛЬНОГО НАУЧНОГО АГРАРНОГО ЦЕНТРА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МИКРОСАТЕЛЛИТНЫХ ДНК-МАРКЕРОВ Кухарук М.Ю., Черкасова Е.В.	31
ОЦЕНКА УСТОЙЧИВОСТЬ К ЗАСУХЕ ТВЕРДЫХ ЛИНИИ ПШЕНИЦЫ (<i>TRITICUM DURUM</i>) В ЦЕНТРАЛЬНОЙ ЧАСТИ УЗБЕКИСТАНА Мавланов Д.С., Наджодов Б.Б., Мавланов Л.Б., Халикулов Д.Х.	33
СЕЛЕКЦИЯ НА АДАПТИВНОСТЬ И КАЧЕСТВО ТВЕРДОЙ ПШЕНИЦЫ В САМАРСКОМ НИИСХ Мальчиков П.Н.....	34
ИСПОЛЬЗОВАНИЕ АЛЛЕЛЕЙ ГЛИАДИНОДИРУЮЩИХ ЛОКУСОВ, КАК ГЕНЕТИЧЕСКИХ МАРКЕРОВ В СЕЛЕКЦИИ И СЕМЕНОВОДСТВЕ ТВЁРДОЙ ПШЕНИЦЫ В ФГБНУ «НЦЗ ИМ П.П. ЛУКЪЯНЕНКО» Мельникова Е.Е., Букреева Г.И., Мудрова А.А., Яновский А.С., Домченко М.И., Воропаева А.Д.	36
ОПЫТ ГЕНОМНОГО РЕДАКТИРОВАНИЯ ТВЕРДОЙ ПШЕНИЦЫ Мирошниченко Д.Н., Тимербаев В.Р., Дивашук М.Г., Пушкин А.С., Шульга О.А., Самарина М., Ермолаев А., Крупин П.Ю., Карлов Г.И., Долгов С.В.	37
INTEGRATE DURUM WHEAT BREEDING APPROACH: SPRING AND WINTER CASE STUDY V. Natoli, L. Bepalova, A. Mudrova, A. Yanovsky, P. Malchikov, S. Shevchenko, M. Miasnikova, S. Dolaberidze, P.De Vita, S. Esposito.....	38
РЕЗУЛЬТАТЫ И ОСОБЕННОСТИ ВЫРАЩИВАНИЯ ОЗИМОЙ ТВЕРДОЙ ПШЕНИЦЫ В КАМЕРАХ ИСКУССТВЕННОГО КЛИМАТА ПРИ УСКОРЕНИИ СЕЛЕКЦИОННОГО ПРОЦЕССА.....	39
Нормов В.А., Яновский А.С., Мудрова А.А.	39
ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ, ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ И СЕЛЕКЦИОННЫЕ АСПЕКТЫ ПОЛУЧЕНИЯ КАЧЕСТВЕННОГО ЗЕРНА ЯРОВОЙ ТВЕРДОЙ ПШЕНИЦЫ НА АЛТАЕ Розова М.А.....	41
КАРОТИНОИДЫ, КАК ПОКАЗАТЕЛИ КАЧЕСТВА ЗЕРНА ЯРОВОЙ ТВЕРДОЙ ПШЕНИЦЫ (<i>TRITICUM DURUM</i>) САРАТОВСКОЙ СЕЛЕКЦИИ: ДОСТИЖЕНИЯ И ПЕРСПЕКТИВЫ Цетва И.С., Гапонов С.Н., Шутарева Г.И., Цетва Н.М., Милованов И.В., Жиганова Е.С., Соловова Н.С., Бурмистров Н.А.....	43
ОСНОВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ И РЕЗУЛЬТАТЫ СЕЛЕКЦИИ ОЗИМОЙ ТВЕРДОЙ ПШЕНИЦЫ <i>TRITICUM DURUM DESF</i> В ФГБНУ «НЦЗ ИМ. П. П. ЛУКЪЯНЕНКО» Яновский А.С., Мудрова А.А., Воропаева А.Д.....	45

НОВЫЙ СОРТ ТУРГИДНОЙ ПШЕНИЦЫ В РОССИИ

Афанасьева Ю.В.¹, Темирбекова С.К.²

1-ФГБНУ Федеральный научный селекционно-технологический центр садоводства и питомниководства (ФГБНУ ФНЦ САДОВОДСТВА), г. Москва, 115598, E-mail: yuliya_afanaseva_90@bk.ru

2-ФГБНУ Всероссийский научно-исследовательский институт фитопатологии (ФГБНУ ВНИИФ), п. Большие Вяземы, 143050

Пшеница тургидная *Triticum turgidum* L. subsp. *turgidum* относится к древнейшим культивируемым видам зерновых. Её выращивают уже около 6 000 лет. Урожайность этих старых сортов пшеницы хотя и была ниже, но растения также были более неприхотливыми и менее чувствительными к болезням и вредителям. Тургидная пшеница обладает большой питательной ценностью и легче усваивается, чем современные сорта пшеницы. Она в два раза крупнее обычной пшеницы, имеет сладковатый ореховый вкус и твердую текстуру [3]. Зерно содержит большее количество минералов, клетчатки и протеина, чем современная пшеница; у него выше уровень антиоксидантов (полифенолы, каротиноиды, флавоноиды). Содержание белка, ненасыщенных жирных кислот, аминокислот, витаминов и минеральных веществ в тургидной пшенице выше, чем в других сортах пшеницы. Она богата витаминами E, B2, B5, B6 и фолиевой кислотой. Этот древний вид пшеницы содержит к тому же магний, кальций и фосфор. Содержащийся в нём микроэлемент селен поддерживает здоровье кожи и волос. Помимо богатого питательного профиля, зерно тургидной пшеницы обладает рядом очень полезных для здоровья свойств. Различные исследования показали, что эта древняя зерновая культура повышает противовоспалительную и антиоксидантную активность в организме [1, 2], улучшает профиль риска пациентов с ОКС (острый коронарный синдром) [7], снижает уровень плохого холестерина в крови и риск развития сердечно-сосудистых заболеваний [4]. Древняя пшеница также полезна для людей с диабетом 2 типа, так как снижает уровень глюкозы и инсулина в крови [5, 8]. По мнению ученых, замена современной пшеницы пшеницей тургидной в рационе может способствовать облегчению симптомов синдрома раздраженного кишечника (СРК) [6]. Исследования проведены в ФГБНУ ФНЦ Садоводства (Центр генофонда и биоресурсов растений, п. Михнево, Ступинский р-н, Московская обл.) в 1997-2020 гг. Объектом исследований были пшеница тургидная яровая *Triticum turgidum* L. subsp. *tyrgidum*. Биохимический анализ образцов проводили на спектрофотометре SpectraStar ХТ 2600 ХТ-1 (США). Физико-химические показатели зерна определяли по действующим стандартам: натуру зерна – по ГОСТ 10840-2017, общую стекловидность – по ГОСТ 10987-76, количество и качество сырой клейковины – по ГОСТ Р 54478-2011, число падения – по ГОСТ ISO 3093-2016. Тургидная пшеница является новой продовольственной культурой, дающей высококачественное, богатое белком зерно, которое является незаменимым сырьем для макаронно-крупяной промышленности. Учеными нашего института ФГБНУ ФНЦ Садоводства был создан сорт пшеницы яровой тургидной КАНЫШ, который является единственным представителем яровой тургидной пшеницы в Российской Федерации. Сорт характеризуется устойчивостью к переувлажнению, к бурой и стеблевой ржавчине, корневым гнилям, к энзимо-микозному истощению семян, отличается высоким содержанием белка и клейковины, высокой стекловидностью. Пшеница яровая *Triticum turgidum* L. subsp. *tyrgidum* сорт Каныш получена путем многолетнего отбора (с 1997 г.) по желаемым признакам из коллекционного образца Farra (ФРГ) на естественном почвенном инфекционном фоне. В качестве стандарта был выбран сорт иностранной селекции Kamut (Германия). Созревание среднее одновременное. Основной морфологический признак сорта Каныш – волнообразность стебля. Вегетационный период 90 дней. Число зерен в

колосе – 28-30 шт. Масса зерен с колоса – 1,6 г. Масса 1000 зерен – 50-54 г. Урожайность 23-25 ц/га. Высота растения по годам от 95 до 120 см, продуктивная кустистость 3,0. Устойчивость к полеганию средняя. Зерно крупного размера, голое, по форме полуудлинённое, имеет красную окраску. Физико-химические показатели зерна яровой пшеницы нового сорта, определенные на инфракрасном (NIR) спектрофотометре SpectraStar модели XT 2600 XT-1: зольность 1,81 %, массовая доля белка в пересчете на сухое вещество -14,3 %, количество клейковины – 25,5 %, качество клейковины – 76 ед. ИДК, стекловидность – 78,3 %, число падения – 355 сек., содержит каротиноиды, придающие зерну и муке янтарно-желтый цвет, имеет высокую оценку качества макарон. Пшеница тургидная - образец древнего, не подвергавшегося усиленной селекции злака. Зерна отличаются более крупным размером, а также приятным вкусом. Полученный нами сорт отличается высоким содержанием белка и клейковины, высокой стекловидностью. Включен в Государственный реестр селекционных достижений, допущенных к использованию в 2022 году для выращивания во всех регионах.

Список литературы:

1. Benedetti S, Primiterra M, Tagliamonte MC, Carnevali A, Gianotti A, Bordoni A, Canestrari F. Counteraction of oxidative damage in the rat liver by an ancient grain (Kamut brand khorasan wheat). *Nutrition*. 2012;28(4):436-41. doi: 10.1016/j.nut.2011.08.006
2. Gianotti A, Danesi F, Verardo V, Serrazanetti DI, Valli V, Russo A, Riciputi Y, Tossani N, Caboni MF, Guerzoni ME, Bordoni A. Role of cereal type and processing in whole grain in vivo protection from oxidative stress. *Front Biosci (Landmark Ed)*. 2011 Jan 1;16(5):1609-18. doi: 10.2741/3808
3. Khlestkina EK, Röder MS, Grausgruber H, Börner A. A DNA fingerprinting-based taxonomic allocation of Kamut wheat. *Plant Genetic Resources*. Mar.2007;4(3). doi:10.1079/PGR2006120
4. Sofi F., Whittaker A., Cesari F. et al. Characterization of Khorasan wheat (Kamut) and impact of a replacement diet on cardiovascular risk factors: cross-over dietary intervention study. *European Journal of Clinical Nutrition*. 2013;67:190–195. <https://doi.org/10.1038/ejcn.2012.206>
5. Sofi F., Whittaker A., Gori AM., Cesari F., Surrenti E., Abbate R., Gensini GF., Benedettelli S., & Casini A. (2014). Effect of *Triticum turgidum* subsp. *turanicum* wheat on irritable bowel syndrome: a double-blinded randomised dietary intervention trial. *The British journal of nutrition*. 2014;111(11):1992–1999. <https://doi.org/10.1017/S000711451400018X>
6. Trozzi C, Raffaelli F, Vignini A, Nanetti L, Gesuita R, Mazzanti L. Evaluation of antioxidative and diabetes-preventive properties of an ancient grain, KAMUT® khorasan wheat, in healthy volunteers. *European Journal of Nutrition*. 2019;58(1):151-161. doi: 10.1007/s00394-017-1579-8
7. Whittaker A., Sofi F., Luisi MLE., Rafanelli E., Fiorillo C., Becatti M., Abbate R., Casini A., Gensini GF. and Benedettelli S. An Organic Khorasan Wheat-Based Replacement Diet Improves Risk Profile of Patients with Acute Coronary Syndrome: A Randomized Crossover Trial. *Nutrients* 2015;7:3401-3415; doi:10.3390/nu7053401
8. Whittaker A., Dinu M., Cesari F. et al. A khorasan wheat-based replacement diet improves risk profile of patients with type 2 diabetes mellitus (T2DM): a randomized crossover trial. *European Journal of Nutrition*. 2017;56:1191–1200. <https://doi.org/10.1007/s00394-016-1168-2>

СТРЕССОБУСЛОВЛЕННЫЙ ПРОФИЛЬ ЭКСПРЕССИИ МЕТИЛТРАНСФЕРАЗ ЦИТОЗИНА ПШЕНИЦЫ МЯГКОЙ (*TRITICUM AESTIVUM*) И ТВЁРДОЙ (*TRITICUM DURUM*)

Белова Н.И., Василик М.П., Федореева Л.И.

В связи с большим количеством пахотных земель с высоким уровнем засоления и развивающимся осваиванием ранее не возделываемых угодий, изучение механизмов солеустойчивости сельскохозяйственных культур является одной из приоритетных задач отечественных исследователей. Важным регуляторным элементом служит эпигеномная модификация ДНК, в числе ферментов, вовлечённых в метилирование у растений, значатся цитозиновые метилтрансферазы. В настоящей работе мы рассмотрели различия экспрессии основных групп метилтрансфераз на фоне солевого и темнового стресса на примере сорта Золотая. Уровни экспрессии некоторых членов семейства *DRM*, *CMT* и *MET* значительно снижались в ответ на солевой стресс.

Ключевые слова: пшеница твёрдая, солевой стресс, метилтрансферазы, экспрессия генов.

Пшеница – одна из наиболее широко возделываемых продовольственных культур, однако повышенная засоленность почвы приводит к подавлению роста и урожайности сельскохозяйственных культур (нарушается ионно-осмотический баланс). Даже незначительное превышение содержания солей в почве способно привести к ухудшению качества и количества сельскохозяйственной продукции. Изучение молекулярной основы реакции растений на засоленность имеет важное значение для поиска подходов к повышению устойчивости растений к стрессу. Одним из способов бороться со стрессовыми факторами окружающей среды у растений является регуляция генов посредством эпигенетических модификаций. Такие модификации могут быть обратимыми и могут быть связаны с инактивацией и активацией генов. Деметилирование функционально неактивных генов вследствие воздействия абиотических стрессов может инициировать их экспрессию. Растения содержат относительно высокие уровни 5-метилцитозина (5-mC), от 6% до 25% от общего цитозина, в зависимости от вида. Метилирование ДНК у растений происходит во всех трех цитозиновых контекстах: CG, CHG и CHH (H = A, T или C). Среди основных классов метилтрансфераз растений выделяются *DRM*, *MET*, *CMT* [3]. Метилирование *de novo* устанавливается *domains rearranged methyltransferase2 (DRM2)* через РНК-направленный путь метилирования ДНК, и поддерживается ДНК-метилтрансферазой1 (*MET1*) и хромометилазой3 (*CMT3*) для контекстов CG и CHG соответственно [4].

В настоящей работе мы задались целью сравнить экспрессионные профили основных метилтрансфераз в восприимчивых и устойчивых к соли сортах пшеницы. В ходе эксперимента нам удалось стабильно амплифицировать гены ДНК-метилтрансфераз: *DRM2*, *MET1*, *CMT1*, *CMT2*, *CMT3*. После нормализации и статистического обобщения данных относительной экспрессии, полученных в ходе ПРЦ-РВ, была показана значимая разница в экспрессии *DRM2.1*, *CMT3.2* и *CMT1.2*.

Статистически значимого влияния фактора части растения, откуда была отобрана, на экспрессию генов метилтрансфераз как пшеницы твёрдой, так и пшеницы мягкой обнаружено не было. Выявлена значимая разница в экспрессивности генов *DRM2.1*, *CMT3.2* и *CMT1.2* по сортам, у Золотой общий фон экспрессии целевых последовательностей на порядок выше, при этом тенденция к росту экспрессии метилтрансфераз при благоприятных условиях выращивания прослеживается для двух сортов. Так, например, в темноте и в соли *DRM2.1* у Золотой экспрессируется в 22,3 раза сильнее, чем у Оренбургской-22, а в воде и на свету разница в экспрессии отличалась уже в 5,7 раз, из чего следует вывод, что у толерантных к стрессу растений транскрипция выбранных метилтрансфераз репрессирована.

Материалы и методы. В данном исследовании мы использовали растения твёрдой и мягкой пшеницы сорта Золотая и Оренбургская 22 соответственно, последняя известна

своей солеустойчивостью. Мы отбирали пятидневные проростки, выращенные рулонной культурой при следующих вариантах условий: на свету в солевом растворе и на свету в воде, с теми же вариантами в темноте. Концентрация солевого раствора 150 мМ. Из полученной биомассы мы выделяли РНК и ДНК по протоколам «РНК-Экстран» (ООО «Синтол», Россия) и «ДНК-Экстран» соответственно, экстракция проводилась из корней, листьев и колеоптиля. Оценка качества и количества выделенных нуклеиновых кислот проводилась спектрометрически. Дизайн праймеров к генам метилтрансфераз проводился при помощи NCBI Primer-BLAST. Реакцию обратной транскрипции ставили по стандартному протоколу, используя реактивы ООО «Синтол». Реакцию ПЦР-РВ проводили в присутствии Sybr Green на амплификаторе CFX 96 Real-Time System (BIO- 96 Real-Time System (BIO- Real-Time System (BIO- -Time System (BIO- Time System (BIO- Time System (BIO- System (BIO RAD).

Список литературы:

1. Saibi W, Brini F. Ion transporters and their molecular regulation mechanism in plants // *J Plant Sci Phytopathol.* 2021; 5: 028-043.
2. Fedoreyeva L.I. et al. Comparative characterization and adaptive mechanisms of salt tolerance of different wheat genotypes // *Sel'skokhozyaistvennaya biologiya [Agricultural Biology]*, 2023, V. 58, 510-524.
3. Vassileva V. et al. Expression profiling of DNA methyltransferase genes in wheat genotypes with contrasting drought tolerance // *Bulgarian Journal of Agricultural Science*, 25 (No 5) 2019, 845–851.
4. Suresh K. et al. Salt-Induced tissue-specific cytosine methylation downregulates expression of HKT genes in contrasting wheat (*Triticum aestivum* L.) genotypes // *DNA and cell biology* Volume 36, Number 4, 2017 283–294
5. Riedelsberger J. Plant HKT Channels: An Updated View on Structure, Function and Gene Regulation // *Int. J. Mol. Sci.* 2021, 22(4), 1892

ТВЕРДАЯ ПШЕНИЦА (*TRITICUM DURUM* DESF.) - ВАЖНЫЙ ИСХОДНЫЙ МАТЕРИАЛ В СЕЛЕКЦИИ МЯГКОЙ (*TRITICUM AESTIVUM* L.)

Беспалова Л.А., Пузырная О.Ю., Агаева Е.В., Новиков А.В., Мудрова А.А.

***ФГБНУ «Национальный центр зерна имени П. П. Лукьяненко»,
Краснодар, 350012
E-mail: Bespalova_l_a@rambler.ru***

В национальном центре зерна имени П.П. Лукьяненко одновременные исследования по селекции пшеницы мягкой озимой и твердой озимой ведутся более 70 лет пересекаясь при планировании гибридизации, подборе родительских пар для скрещиваний. Мягкая пшеница является донором зимоморозостойкости, скороспелости, короткостебельности, устойчивости к фузариозу колоса для твердой, а последняя привлекает селекционеров мягкой пшеницы устойчивостью к грибным болезням в т.ч. к твердой головне, высокой засухоустойчивостью, крупным, многоцветковым колосом. Классическим примером использования твердой яровой пшеницы в создании широкоадаптированных с высочайшей засухоустойчивостью сортов яровой мягкой являются работы А.П. Шехурдина (1963), В.Н. Мамонтовой (1967), Л. Ильиной (1970) в Саратове, в НИИ Юго – Востока. Сорт Саратовская 29 имел беспрецедентное распространение во времени и пространстве. Высокая засухоустойчивость озимой твердой пшеницы была подтверждена нами при изучении селекционного материала в условиях полупустыни в Калмыкии. Было установлено преимущество твердой по урожайности

зерна в отдельные годы с мягкой зимой и очень засушливым весенне – летним периодом, за счёт более высокой чистой продуктивности фотосинтеза во второй подпериод (от колошения до восковой спелости). В 2012 году чистая продуктивность фотосинтеза в период от колошения до полной спелости составила у пшеницы мягкой 6,2 г/м², у тритикале озимой 5 г/м², а у твердой озимой 6,7 г/м² в сутки. Установлен высокий эффект взаимодействия (36,4 %) «генофонд-среда». Во все годы исследований уборочный индекс (Кхоз) у твердой пшеницы был высоким (56-60%), против 48-56% у мягкой и 42-54% - у тритикале. Именно высокий Кхоз у твердой пшеницы в условиях крайней засухи является очень важным моментом для использования ее в улучшении мягкой.

В 70е годы в результате межвидовой гибридизации Мичуринка/Безостая 1 (T.durum/ T.aestivum), были отобраны новые формы, которые были идентифицированы как новые подвиды и в т.ч. образец 59h1 с огромной потенциальной продуктивностью колоса, широкими листьями, толстым устойчивым к полеганию стеблем, но позднеспелость не позволяла в полной степени налиться зерну. Были сделаны сотни гибридов внутривидовых и межвидовых, но получаемый материал не отличался достаточно высокой надежностью и стабильностью. Обуздать «гетерозисную мощь» биомассы линии 59h1 удалось в процессе рекомбиногенеза, при использовании ксероомфной структуры скороспелого сорта Старшина (почти двуручки) и затем полукарликового сорта Гром (созданного при использовании диких сородичей). Использование сложной ступенчатой гибридизации позволяет через рекомбиногенез на разных этапах селекции «примирить» чужеродный генетический материал с генофондом широкоадаптированных сортов. Необходимо отметить, что беккроссная селекция не справляется с такой задачей. Комбинирование различных генофондов основательно решает эту проблему.

В результате такого подхода созданы и допущены к использованию сорта пшеницы мягкой озимой Шарм и Эмма, которые унаследовали от *T.durum* высокопродуктивный колос, крупное зерно, высокую засухоустойчивость, устойчивость к бурой, желтой ржавчине и мучнистой росе. Высокоурожайный сорт Цаца проходит Государственное сортоиспытание.

ОПЫТЫ ПО УСКОРЕННОМУ ПРОХОЖДЕНИЮ ЯРОВИЗАЦИИ ДЛЯ ЦЕЛЕЙ SPEED BREEDING (СПИД БРИДИНГА) У ОЗИМОЙ ТВЁРДОЙ ПШЕНИЦЫ

**Блинков А.О.¹, Бизякина Д.О.^{1,2}, Алкубеси М.^{1,2}, Крупина А.Ю.¹, Свистунова Н.Ю.¹,
Радзенице С.Б.¹, Канунникова В.Ю.¹, Кочешкова А.А.¹, Карлов Г.И.¹,
Дивашук М.Г.¹**

**1 – ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт
сельскохозяйственной биотехнологии» (ФГБНУ ВНИИСБ), Москва 127550;
E-mail: dasha.biz@mail.ru**

**2 – ФГБОУ ВО «Российский государственный аграрный университет - МСХА
имени К.А. Тимирязева» (ФГБОУ ВО РГАУ-МСХА им. К.А. Тимирязева),
Москва 127434**

В настоящее время Speed Breeding (спид бридинг) является технологией, которая активно внедряется в прикладную и фундаментальную работу многих лабораторий. Данная технология позволяет в среднем получить полную вегетация яровой пшеницы за 2 месяца, то есть провести шесть поколений за год, другими словами, создать чистую гомозиготную линию [1]. Однако, ограничивающим фактором в быстром размножении озимой пшеницы является длительный процесс яровизации, требующий в среднем от 40 до 60 суток. Недавнее исследование, связанное с ускорением яровизации показало, что

достаточно 28 суток яровизации для раннего и дружного цветения озимых злаков при соблюдении таких факторов, как поддержание температуры на уровне 10°C, фотопериод 22 ч день/2 ч ночь и помещение семян на поверхности почвы [2]. Мы решили оценить возможность использования данного протокола на российских генотипах твёрдой озимой пшеницы, а также протестировать ряд параметров, которые могут влиять на ускорение яровизации твёрдой озимой пшеницы.

В качестве используемых генотипов нами были выбраны три линии твёрдой озимой пшеницы 3596h56, Цель и Кордон, любезно предоставленные коллегами из Национального центра зерна им. П.П. Лукьяненко. Эти линии, по рекомендациям авторов, а также после результатов генотипирования (имели аллели *Vrn-A1b* и *Vrn-A1a*), отличались между собой длительностью яровизации. Первым делом мы оценили фазу развития растений, пригодную для переноса в условия яровизации, среди протестированных фаз, таких как колеоптиль, 1-2 листа и кущение, самое быстрое колошение и цветение наблюдалось при помещении растений, достигших небольшого колеоптиля. Также мы оценили объём сосуда, который пригоден для быстрого цветения озимой твёрдой пшеницы. Среди протестированных объёмов, лучший результат показали кассеты с объёмом ячеек 120 мл. В таких кассетах кущение было ограничено и наблюдался быстрый выход в трубку. Для экономии места в яровизационной комнате, яровизацию проросших семян проводили в чашках Петри, заполненных вермикулитом. Также мы оценили возможность использовать для ускоренной яровизации изолированные зародыши и обнаружили, что они могут быть отличным объектом для яровизации, к тому же, их чувствительность к факторам яровизации выше. В ходе работы, по оцениванию таких факторов, как температура (5°C и 10°C), фотопериод (короткий 10 ч день/14 ч ночь и длинный 22 ч день/2 ч ночь) и интенсивность света (низкая 50 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ и высокая 450 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$). В результате лучшей комбинацией факторов стал короткий фотопериод, температура 5°C и низкая интенсивность света 50 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$. В данных условия растения яровизировались быстрее всего: линии 3596h56 хватало 5 недель яровизации, цветение наступало у неё на 106 сутки после посева, от семени до семени проходило 121 день; среднетребовательная к яровизации линия Цель также требовала 5 недель яровизации, цветение у неё в таком случае наступало на 78 сутки после посева и от семени до семени проходило 93 дня; низкотребовательная к яровизации линия Кордон требовала для дружного цветения 28 суток, при таком периоде яровизации цветение наступало у неё на 64 сутки после посева, а от семени до семени проходило 79 дней.

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта РФФИ № 21-16-00121

Список литературы:

1. Watson A. et al. Speed breeding is a powerful tool to accelerate crop research and breeding. 2018. 4(1): 23-29.
2. Cha J. K. et al. Speed vernalization to accelerate generation advance in winter cereal crops. 2022. 15(8): 1300-1309.

РЕЗУЛЬТАТЫ СЕЛЕКЦИИ ЯРОВОЙ ТВЕРДОЙ ПШЕНИЦЫ В ФГБНУ «НЦЗ ИМ. П.П. ЛУКЬЯНЕНКО»

Воропаева А.Д., Яновский А.С., Мудрова А.А.

**ФГБНУ «Национальный центр зерна имени П. П. Лукьяненко», Краснодар, 350012
E-mail: A7961559006@yandex.ru**

Твердая пшеница *Triticum durum* Desf. является одним из наиболее важных видов зерновых культур. Выращивается во всем мире на площади почти 17 миллионов га, а мировой объем производства составляет более 38,1 миллиона тонн (1).

Особая ценность твердой пшеницы заключается в том, что она является единственным сырьем для изготовления высококачественных макаронных изделий, характеризующихся высокой прочностью, низкой разваримостью, приятным вкусом. Биологическая ценность зерна твердой пшеницы не может быть заменена или компенсирована ценностью мягкой пшеницы (2).

В НЦЗ им. П.П. Лукьяненко работа по селекции сортов яровой твердой пшеницы возобновлена в 2001 году. Для быстрого получения практического результата был заключен долговременный договор о научном сотрудничестве и совместной селекции с ФАНЦ Юго-Востока, одним из ведущих учреждений по работе с яровой твердой пшеницей. Был получен обширный селекционный материал с высокими параметрами качества зерна.

Первые были созданы совместно с ФАНЦ Юго-Востока: Крассар, Лилек, Николаша. Они обладали засухоустойчивостью, высокими темпами весеннего отрастания, скороспелостью и отличными технологическими качествами зерна и макарон. Вместе с тем, они не отвечали модели сорта яровой твердой пшеницы для более увлажненных условий Юга России. Наряду с положительными признаками, негативными для наших условий, явились высокорослость данных сортов (в зависимости от года от 110 до 125 см) в следствии чего низкая устойчивость к полеганию недобор урожая в зависимости от года составлял от 20 до 50%. (3) Данные сорта относятся к полу интенсивной группе. У перечисленных сортов отмечалась крайне низкая отзывчивость на улучшение условий выращивания.

В 2017 году был районирован первый сорт яровой твердой пшеницы, созданный для условий возделывания в Северо-Кавказском регионе. Сорт среднеспелый, среднерослый, с высокой устойчивостью к полеганию и засухе. В конкурсном сортоиспытании НЦЗ им. П.П. Лукьяненко в среднем за три года (2015-2017 гг) его урожайность составила 6,02 т с 1 га, что выше, чем у сортов Вольнодонская на 1,08 и Николаша на 0,40 т с 1 га. Максимальная урожайность 6,44 т с 1 га получена в 2017 году.

Характеризуется более высокой урожайностью по сравнению со стандартными сортами и в других эколого-географических зонах. Сорт Ясенка обладает высокими показателями качества, соответствующим мировым стандартам. Отличительная особенность данного сорта — это высокие показатели индекса глютена ($GI > 90\%$) и индекса желтизны ($YI > 26$).

В 2020 году районированы два новых сорта яровой твердой пшеницы Ярина и Триада. Сорт Ярина среднеранний, короткостебельный (92 см) высокопродуктивный. В производственных условиях Краснодарского края сформировал урожайность более 5,0 т с 1 га с высокими показателями качества макарон (прочность макарон 822 г, разваримость 3,5 балл, лимонный цвет, общая оценка макарон 4,8 балл). Сорт Триада создан совместно с ФГБНУ Самарский Федеральный Исследовательский Центр и ФГБНУ Федеральный научный центр зернобобовых и крупяных культур. Сорт полукурликовый, (85 см) среднеспелый, максимальная урожайность данного сорта составила 6,8 т с 1 га. Содержание протеина 14,5-15,2%, клейковины в кружке 27,8-32,3 %, высокая масса 1000 зерен 44,2 г. Оба сорта отличаются высокой отзывчивостью на улучшение условий выращивания.

В 2022 году включен в Государственный реестр РФ сорт яровой твердой пшеницы Ядрица. Сорт короткостебельный (95 см), среднепоздний созревает на 3-6 дней позже стандартного сорта Николаша. Это первый сорт, созданный методом внутривидовой гибридизации яровой твердой пшеницы, Алтайская нива и озимой твердой Ласка. В данном сорте удалось совместить высокие показатели качества яровой твердой пшеницы (прочность макарон 827 г, разваримость 3,7 балл, насыщенно-лимонный цвет, общая

оценка макарон 4,8 балл) с продуктивностью и устойчивостью к возвратным заморозкам от озимой твердой пшеницы (морозостойкость на уровне сорта озимой мягкой пшеницы Безостая 1).

В 2022 году на Государственное сортоиспытание передан сорт яровой твердой пшеницы Меч. Сорт создан по программе использования генетического потенциала озимых форм в селекции яровой твердой пшеницы. Получен методом внутривидовой гибридизации и индивидуального отбора в F₄ гибридной популяции, полученной от скрещиваний твердой пшеницы яровой Ionio итальянской селекции и озимой Леукурум 2093h34-04-48. Полукарликовый (80 см), скороспелый, созревает на 2 дня раньше сорта Николаша. Максимальная урожайность сорта получена в 2020 году 7,2 т с 1 га. Сорт Меч относится к группе высокоинтенсивных сортов с плотным стеблестоем и крупным колосом (масса 1000 зерен 45-48 г). В производственных опытах центра при норме высева 5 мл. семян на 1 га и однократной подкормке аммиачной селитрой N₇₀ урожайность составила 6,51 т с 1 га, превысив сорт Ясенка на 2,3 т с 1 га. В сорте Меч удачно сочетается высокая продуктивность со скороспелостью и качеством зерна, соответствующим международным стандартам.

Дальнейшая работа по улучшению яровой твердой пшеницы в НЦЗ им. П.П. Лукьяненко будет направлена на создание сортов, относящихся к различным морфотипам с широкой экологической адаптивностью, плотным стеблестоем, крупным и многоцветковым колосом, устойчивых и толерантных к основным биотическим и абиотическим стресс-факторам, соответствующих мировым стандартам качества.

Список литературы:

1. Agriculture and Agri-Food Canada. Canada: Outlook for Principal Field Crops. 19 July 2019. Available online: <http://www.agr.gc.ca/eng/industry-markets-and-trade/canadian-agri-food-sector-intelligence/crops/reports-and-statistics-data-for-canadian-principal-field-crops/?id=1378743094676> (accessed on 26 September 2019).
2. Мудрова А.А. Селекция озимой твердой пшеницы на Кубани/КНИИСХ.-Краснодар, 2004.-190 с.
3. Мудрова А.А., Яновский А.С., Беспалова Л.А., Боровик А.Н. Результаты селекции высококачественных сортов яровой твердой пшеницы // Сборник материалов IV международной научной конференции. Симферополь. 2019. С. 178-179. DOI: 10.33952/09.09.2019.85

ТВЕРДАЯ ПШЕНИЦА (TRITICUM DURUM), РЕЗУЛЬТАТЫ СЕЛЕКЦИИ «ФАНЦ ЮГО-ВОСТОКА»

**Гапонов С.Н., Шутарева Г.И., Цетва Н.М., Цетва И.С., Милованов И.В.,
Жиганова Е.С., Соловова Н.С., Бурмистров Н.А.**

***ФГБНУ «Федеральный аграрный научный центр Юго-Востока»
(ФГБНУ ФАНЦ Юго-Востока), Саратов, 410010; e-mail: gaponovsergey1966@mail.ru***

В связи с глобальным потеплением климата аридизация многих территорий — объективная реальность. Юго-восток европейской части России, а именно Нижнее Поволжье, относится к наиболее засушливым земледельческим районам мира, где зерновые культуры возделываются на богаре. Если и есть районы в некоторых странах мира примерно с таким же годовым количеством осадков, то, как правило, за период вегетации яровой твердой пшеницы там их выпадает все же больше, чем в нашем регионе.

В таких странах как Австралия, Мексика, Аргентина, Индия, странах Средиземноморского побережья и северных районах Африки яровая твердая пшеница

выращивается в благоприятных условиях зимнего периода (обычно с ноября до конца мая, начала июня) и, главным образом, при орошении. В США основные ее посевы сосредоточены в штате Северная Дакота, Канаде — в провинции Саскачеван, т. е. там, где около 65...70% осадков выпадает в весенне-летний период.

В Саратовской же области за этот период выпадает всего 35...40% осадков от среднегодового. Для Поволжья характерны огромные колебания сезонного количества осадков как по годам, так и распределение их в пределах вегетационного периода яровой пшеницы.

Если последние 39 лет наблюдений за вегетацией яровой твердой пшеницы разделить на три периода, то из них только 10 считаются крайне засушливыми, неблагоприятными по продуктивности яровой твердой пшеницы. При ГТК $\leq 0,5$ – урожай был минимальный от 0,55 до 1,04 т/га. Второй период составляет 15 лет, которые были относительно благоприятными, с достаточными осадками и температурой воздуха, при ГТК более 0,9 был получен высокий урожай - более 3,2 т/га. Еще 14 лет соответствуют средnezасушливым погодным условиям, при ГТК 0,5...0,9 – продуктивность сортов составила в среднем 1,8...2,0 т/га. Анализ полученных данных по вегетации приводит к выводу о том, что самые важные осадки для яровой твердой пшеницы необходимы в период колошение - налив. Это подтверждается отличным урожаем, например, в 1986 году – 2,24 т/га, когда ГТК за вегетацию составил 0,5, а в период колошение-налив выпало 47,6 мм осадков, что составляет почти половину от 89,7 мм осадков за всю вегетацию. Для селекционеров важно создавать сорта, позволяющие в неблагоприятных условиях вегетации, давать хороший урожай. Влияние осадков в различные периоды вегетации очень существенно. Наиболее важные периоды созревания яровой пшеницы: посев-всходы ($R^2 = 0,11$)* или 11%, всходы-кущение, кущение-колошение, а особенно, колошение-налив ($R^2 = 0,18$) или 18%. А в период созревание-уборка любые осадки влекут за собой потерю качества зерна, а следовательно, и урожай. Общая тенденция – увеличение положительных температур за вегетацию яровой твердой пшеницы с апреля по август в среднем с 18,1 до 19,8° С. Также очевидна тенденция к сокращению суммы осадков в период выращивания яровой пшеницы с 150 мм до 129 мм. Таким образом, совершенно очевидно, что засухи разных типов в зоне Поволжья, как и для всех юго-восточных районов европейской части России, были и будут закономерным явлением.

Несмотря на складывающиеся условия вегетации яровой пшеницы, селекционеры отбирают новые формы и создают сорта, выдерживающие абиотические стрессоры, сохраняющие высокий потенциал продуктивности и качества зерна. Наши сорта соответствуют современным требованиям переработчиков и производителей макаронной продукции. При натуре 800 г/л, стекловидности не менее 80% и 15% белка, индекс желтизны более 22 у.е., индекс глютена (IG) 80. Примером этому служат два сорта яровой твердой пшеницы Памяти Васильчука (2020) и Тамара (2022), включенные в Государственный реестр охраняемых селекционных достижений совсем недавно.

Список литературы:

1. Ильина Л.Г. Селекция яровой пшеницы в НИИСХ Юго-Востока // Селекция полевых культур на Юго-Востоке. Саратов, 1970. Вып.27. С.5-126.
2. Васильчук Н.С. Селекция яровой твердой пшеницы. Саратов: Изд-во «Новая газета»; 2001.-.124 с.
3. Гапонов С. Н., Попова В. М., Шутарева Г. М., Цетва Н. М., Паршикова Т. М., Щукин С. А. 25 лет сорту Саратовская золотистая. *Зерновое хозяйство России*. 2018;(5):57-60.
4. Гапонов С.Н., Шутарева Г.И., Цетва Н.М., Цетва И.С., Милованов И.В., Бурмистров Н.А. Новый сорт яровой твердой пшеницы Памяти Васильчука. / *Аграрный вестник Юго-Востока*. - №2-2020.
5. Гапонов С.Н., Шутарева Г.И., Цетва Н.М., Цетва И.С., Милованов И.В. Усовершенствование метода реологической оценки качества зерна в селекции яровой

- твердой пшеницы. *Зерновое хозяйство России.* 2020;(1):49-53. <https://doi.org/10.31367/2079-8725-2020-67-1-49-53>.
6. Васильчук Н. С., Гапонов С. Н., Еременко Л. В., Паршикова Т. М., Попова В. М., Шутарева Г. И., Куликова В. А. Селекция твердой яровой пшеницы на высокое содержание каротиноидов в зерне // Сборник научных трудов ГНУ НИИСХ Юго-Востока Россельхозакадемии. Саратов, 2009. С. 89–100.
7. Гапонов С.Н., Шутарева Г.И., Цетва Н.М., Цетва И.С., Милованов И.В. Сорты и линии ICARDA в селекции яровой твердой пшеницы (*Triticum durum* Desf.) Нижнего Поволжья. // Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции - 182(3)-2021.-С.137-142. <https://doi.org/10.30901/2227-8834-2021-3-137-142>.
8. Гапонов С.Н., Шутарева Г.И., Цетва Н.М., Цетва И.С., Милованов И.В., Бурмистров Н.А., Жиганова Е.С., Куликова В.А. Новый сорт яровой твердой пшеницы Тамара – источник каротиноидных пигментов. *Зерновое хозяйство России.* 2022;(3):51-56. <https://doi.org/10.31367/2079-8725-2022-81-3-51-56>.
9. Гончаров С. В., Курашов М. Ю. Перспективы развития российского рынка твердой пшеницы. *Вестник Воронежского государственного аграрного университета.* — 2018. — №2. — С. 66-75. — doi: 10.17238/issn2071-2243.2018.2.66.

ФОРМИРОВАНИЕ ПРОИЗВОДСТВЕННО-СБЫТОВОЙ ЦЕПОЧКИ ТВЕРДОЙ ПШЕНИЦЫ

Гончаров С.В., Долаберидзе С.Д.

*ООО «Агролига ЦСР», г. Москва
e-mail: slogan070260@gmail.com*

Организация экономического сотрудничества и развития (ОЕСД) и ФАО в «Сельскохозяйственном прогнозе 2023-32» прогнозируют замедление роста мирового аграрного производства до +1,1% в год, что недостаточно для темпов увеличения потребления продовольствия населением (+1,3%).

Мировые посевные площади пшеницы практически не изменились в последние 20 лет и составляют 222 млн га из 1,5 млрд га сельхозугодий. Сегмент твердой пшеницы занимает около 4% объема производства культуры и в ряде стран рассматривается как приоритетный. Цель данной статьи – оценка развития семенного рынка твердой пшеницы в РФ в связи с созданием производственно-сбытовых цепочек.

Объемы потребления макаронных изделий на душу населения позволяют России входить в десятки рейтинговых стран мира. Рост потребления макаронных изделий в стране составляет стабильно 2% в год и достигнет 1,7 млн т к 2030 г. при более, чем 1,5 млн т в настоящее время. Этому способствует приверженность значительной части населения к здоровому образу жизни и, соответственно, интерес к функциональным продуктам, к которым относится сегмент высококачественных макаронных изделиях категории «А» (паста), как и другие продукты из твердой пшеницы (манка, кускус, булгур). По оценке экспертов НАПМИ (национальной ассоциации производителей макаронных изделий) информация на упаковках макаронных изделий о категории «А» (из твердой пшеницы) лишь в 45% соответствует заявленной. То есть потребителям предоставляется недостоверная информация о качестве макаронных изделий.

В нашей стране до 76% перерабатываемого зерна твердой пшеницы используется для изготовления пасты, остальное потребляют производители круп, кондитерских изделий,пельменей и др. Помимо главной цели - надежного обеспечения национального рынка, множатся запросы на поставку партий зерна для Северной Африки и Турции с потенциалом более 1 млн т. Но на мировом рынке востребована категория “high quality”,

соответствующая отечественному 1-2 классу, объемы производства которых в РФ незначительны.

Макаронные качества используемого для переработки зерна твердой пшеницы обусловлены на 40% содержанием клейковины, на 40% ее качеством и на 20% содержанием каротиноидных пигментов. При наличии ГОСТ 9353-2016 Пшеница. Технические условия возникает потребность в экспортных стандартах. Увеличение доли качественного зерна возможно лишь при учете потребностей как предприятий пищевой индустрии, так и экспортеров, при условии поддержки отрасли государством, поскольку зерновой демпфер - фактор, сдерживающий экспорт зерна.

В РФ нет официальной статистики посевных площадей и валовых сборов твердой пшеницы, несмотря на принятое на совещании МСХ и предприятий перерабатывающей индустрии в 2022 г. решение, что Росстат должен включить сведения о производстве твердой пшеницы в форму федеральной статистики.

С учетом географического положения перерабатывающих предприятий в ближайшие годы ожидается расширение посевных площадей яровой твердой пшеницы как в традиционной зоне Приуралья, так и в южных областях ЦФР, где находятся 60% перерабатывающих мощностей, озимой твердой пшеницы – в ЮФО. Благодаря изменению климата на широте г. Воронежа сумма эффективных температур превысила 3000⁰ С; произошел сдвиг микрозон. В ряде хозяйств ЦЧР в последние годы получают стабильные урожаи 5-6 т/га хорошего качества интенсивных сортов яровой твердой пшеницы Бурбон, Таганрог, Никола, Ясенка и др., включенные в список ценных сортов НАПМИ.

В последнее десятилетие посевные площади твердой пшеницы варьировали в пределах 640-670 тыс. га, что при урожайности 1,1 т/га обеспечивало валовый сбор около 700 тыс. т. Фактически это означало дефицит зерна твердой пшеницы, как например в 2021-2022 гг. Так, при валовом сборе в 740 тыс. т в 2021 г. за исключением объема потребности семян в 130 тыс. т и экспорта 96 тыс. т, обеспеченность перерабатывающей промышленности крупкой была 400 тыс. т при 70% выходе. Острую нехватку зерна твердой пшеницы частично ликвидировали поставками партий из Казахстана, несмотря на необходимость хранения партий зерна. Однако в настоящее время ФГИС «Зерно» должно упорядочить подобные операции.

Валовой сбор 2022 г. наоборот, достиг 1,2 млн т, что привело к падению цен до 14-16 тыс. руб./т. В связи с тем, что твердая пшеница уступает по урожайности мягкой на 15-20%, закупочная цена зерна остается критическим фактором. В традиционных зонах выращивания культуру в севообороте высевают по черному пару, а мягкую – по непаровым предшественникам. Твердая пшеница требует большего внесения удобрений для достижения желаемых показателей качества, нуждается в более надежной защите посевов от фитопатогенов.

Сезон 2023 г сложился неблагоприятно для твердой пшеницы во многих регионах страны. При том что посевные площади достигли 0,98 млн га и прогнозируемый урожай может достичь 1,5 млн т, осадки в период налива зерна в регионах производства культуры вызвали прорастание зерна на корню. По предварительным оценкам более половины валового сбора могут быть непригодными для переработки. Цена опять взлетела до 25-28 тыс. руб./т с НДС. Аналогичная ситуация с падением качества сложилась в Казахстане. Среди предприятий перерабатывающей промышленности, при совокупной потребности 950 тыс. т сырья обостряется конкуренция за партии зерна хорошего качества. Ожидается что этот сезон неблагоприятен для культуры в ряде стран: производство в Канаде составило 3,5 млн т вместо ожидаемых 5 млн. Качество итальянской твердой пшеницы также снизилось из-за июньских осадков.

Проблемы отрасли заключаются в неслаженности производственно-сбытовой цепочки, в которой участники зачастую действуют без учета потребностей друг друга.

Перерабатывающая индустрия должна транслировать «заказ» селекционерам и сельхозпроизводителям в сырьевых зонах.

Без информации о рынке товарного зерна закупки осуществляются в спотовом режиме, несущем высокие риски для участников рынка. На спотовом рынке торговля происходит «на месте» с передачей товарами покупателю в противоположность с внебиржевым рынком, где сделки основаны на контрактах, заключенных между сторонами сделки. Спотовый рынок зерна ограничивает интерес сельхозпроизводителей к производству культуры.

Эффективность производственно-сбытовой цепочки возрастет при контрактации части урожая, обеспечении семенами востребованных, разработке протокола защиты и консалтинга, как это произошло у нас в стране с пивоваренным ячменем. Уровень взаимодействия между участниками цепочки в настоящее время улучшается во многом благодаря деятельности НССиС, транслирующего потребности отрасли в МСХ и создающего модель коллективной продовольственной и экономической безопасности.

Требуется упрощение процедуры районирования и расширения регистрации по регионам с учетом мнения отрасли переработки. Необходим механизм государственной поддержки производства высококлассного зерна за счет надбавок за качественные параметры. Настало время создать инструмент борьбы с партиями сомнительного качества и происхождения. Для стимулирования семеноводства сортов твердой пшеницы следует ввести 50% повышающий коэффициент к субсидии за элитное семеноводство. Статистика по площадям, сборам, урожайности позволит нивелировать риски участников производственно-сбытовой цепочки, улучшить привлекательность твердой пшеницы благодаря большей прогнозируемости рынка.

КАЧЕСТВО ЗЕРНА: ГЕНЕТИЧЕСКИЙ ПОТЕНЦИАЛ СОРТОВ, ПРОИЗВОДСТВЕННАЯ РЕАЛЬНОСТЬ, ПУТИ РЕШЕНИЯ

Грошев С.В.¹, Гончаров С.В.²

1 – НССиС, г. Москва,

2 – ООО «Агролига ЦСР», г. Воронеж

E-mail: sergey.v.groshev@almos-agroliga.ru

Твердая пшеница является десятой по значимости культурой в мире, на которую приходится около 4-6%а валового урожая пшеницы с ежегодным производством 35-40 млн. тонн. Страны средиземноморья - крупнейшие производителями зерна твердой пшеницы и одновременно главные потребители продуктов из зерна данной культуры. До половины мировых посевных площадей и объемов производства твердой пшеницы находятся в странах Средиземноморского бассейна - Италии, Марокко, Сирии, Туниса, Франции, Испании и Греции.

По оценке IGS объем производства твердой пшеницы в 2023/24 сезоне снизится до 31,4 млн т, что на 2,3 млн т (7%) ниже предыдущего сезона 2022/23 – 33,3 млн т. Эта неблагоприятная тенденция; объемы потребления зерна твердой пшеницы прогнозируются в 2023/24 на уровне 33,6 млн т, что на 0,4 млн т ниже по сравнению с 2021/22 – 34,0 млн т.

Производство глобально снижается по сравнению с потреблением последние 5 лет; в Евросоюзе запущена «антиглифосатная» кампания по ограничению импорта зерна, завозимого с американского континента из-за опасений отрицательного влияния глифосата на здоровье населения. Парадокс в том, что на внешних рынках в настоящее время сформировался повышенный спрос на твердую пшеницу, которым не может воспользоваться Россия.

Рынок твердой пшеницы в нашей стране нишевой; зерно используют в основном для производства высококачественных макаронных изделий, круп буглгур, кус-кус, манки. Производители пельменей проявляют интерес к твердой пшенице для повышения качества своей продукции. Экспорт зерна твердой пшеницы в последние годы не превышал 100 тыс. т в год, то, однако в текущем сезоне превысил 325 тыс. т несмотря на «зерновой демпфер», что не могло не вызвать озабоченность перерабатывающей индустрии из-за опасений по поводу недостатка сырья. Решение о введении запрета на экспорт зерна твердой пшеницы в текущем сезоне принято с запозданием и не поможет ни сельхозпроизводителям, ни переработчикам.

Валовые сборы твердой пшеницы в 2017-2020 годы составил до 750 тыс. т, при потребности перерабатывающей отрасли 850 тыс. т. При этом доля зерна 1-2 классов не превышала 5%, а для переработки использовали зерно только 3 и 4 классов. При этом перерабатывающая индустрия модернизируется, наращивает свои мощности, которые уже близки к 950 тыс. т, что требует анализа причин стагнации сырьевой отрасли.

По инициативе Национального Союза Селекционеров и Семеноводов (НССиС) при поддержке Национальной ассоциации производителей макаронных изделий (НАПМИ) и компании Агролига России в 2020 г. сделана попытка создания отраслевого сообщества, включающее селекционеров, семеноводов, сельхозпроизводителей зерна твердой пшеницы, производителей макаронных изделий и экспортеров.

По инициативе НССиС совместно с представителями МСХ РФ были проведены совещания по обсуждению проблем рынка и эффективности производственно-сбытовой цепочки «твердая пшеница»: 20.10.20 г., организатор - Р.В. Некрасов; 22.12.20 г., организатор Д.Х. Хатуов, 20.01.22 г., организатор А.В. Разин. Состоялся открытый обмен мнениями на основе экспертного анализа рынка производства и потребления зерна твердой пшеницы в стране.

В России до настоящего времени не ведется статистика посевных площадей и валовых сборов твердой пшеницы, несмотря на принятое на совместном совещании МСХ и предприятий перерабатывающей индустрии в 2022 г. решение, что Росстат должен был включить сведения о производстве твердой пшеницы в форму федеральной статистики. Если по таким культурам, как тритикале, просо, сорго, занимающим 200-300 тыс. га, ведется статистика, то по твердой пшенице с оценочной площадью в 2023 г. около 1 млн г. в 2023 г. – нет! Стандарты устарели и не учитывают международных требований качества. Производство зерна твердой пшеницы в России не может стабильно обеспечить растущие потребности отечественной перерабатывающей промышленности по ряду причин (рис.1)



Рис. 1 – Ограничивающие факторы производства твердой пшеницы в РФ

Привлечение отраслевого внимания к проблемам позволило за период 2022 – 2023 гг увеличить площади до 980 тыс. га, а валовые сборы до 1,3-1,4 млн. т. Разработаны рекомендации по выращиванию твердой пшеницы [1, 2] Как следствие в 2022 г Россия впервые вышла на самообеспечение перерабатывающей промышленности товарным зерном с ростом экспорта. Однако осадки в период налива зерна 2023 г. в большинстве регионов производства твердой пшеницы привело к падению качества: прорастанию зерна, снижению стекловидности, увеличению доли зерна с черным зародышем, низкому числу падения, загрязнению зерна микотоксинами. Из ожидаемых 1,3-1,4 млн тонн для отечественной переработки пригодными будут не более 400 тыс. т при потребности только макаронной отрасли более 800 тыс. т.

В 2022 г. Минсельхоз заявлял о планах расширить сборы твердой пшеницы до 1,8 млн т к 2025 г. Для достижения этих целей считаем необходимым принять Госпрограмму развития, взяв за основу следующие предложения:

- улучшить динамику сортимента, упростив процедуру районирования и расширения регистрации с учетом мнения отрасли переработки и экспортеров;
- разработать механизм государственной поддержки производства высококлассного зерна за счет надбавок за качественные параметры ценных сортов 15 и 30% за 1 и 2 класс соответственно;
- для обеспечения стабильного семеноводства сортов твердой пшеницы ввести 50% повышающий коэффициент к субсидии за элитное семеноводство.

Список литературы

1. Твердая пшеница / К.П. Веретин, С.В. Гончаров, С.В. Грошев, С.Д. Долаберидзе, В.Т. Карымов, К.В. Кожевников, О.В. Савенко, Ю.В. Чеботарев, И.В. Шман. – М. Агролига. – 64 с.
2. Руководство по выращиванию твердых сортов пшеницы / М. Сильвестри, Г.Савино, АА. Амплеев, М.А. Низаев, М.Ю. Курашов, С.В. Гончаров, И.Н. Бесалиев, А.Л. Панфилов, Н.С. Регер, Д.И. Губарев, Г.И. Шутарева, П.Н. Мальчиков, М.Г. Мясникова, Е.Н. Шаболкина. Varilla, 2023. – 26 с.

РЕЗУЛЬТАТЫ ПРИМЕНЕНИЯ ПРИКЛАДНЫХ ГЕНЕТИЧЕСКИХ ТЕХНОЛОГИЙ В СЕЛЕКЦИИ ТВЕРДОЙ ПШЕНИЦЫ: ЧТО МОЖНО УСПЕТЬ ЗА ТРИ ГОДА?

Дивашук М.Г.¹, Коробкова В.А.¹, Ермолаев А.С.¹, Крупина А.Ю.¹, Крупин П.Ю.¹, Беспалова Л.А.², Яновский А.С.², Кочешкова А.А.¹, Блинков А.О.¹, Воропаева А.Д.², Архипов А.В.¹, Мудрова А.А.², Карлов Г.И.¹

1 – ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт сельскохозяйственной биотехнологии», Москва 127550;

E-mail: divashuk@gmail.com

2 – ФГБНУ «Национальный центр зерна им. П.П. Лукьяненко», Краснодар 350012

Для создания конкурентно способных отечественных сортов, а также улучшения уже имеющихся сортов, объединяющих в себе высокие показатели урожайности, технологические качества и адаптивные свойства, необходим комплексный подход к изучению селекционного материала. Для достижения наилучшего результата и для повышения эффективности селекционного процесса наряду с классическими методами

оценки материала следует применять методы молекулярной биологии (такие как SDS-PAGE, технологии MAS селекции, GWAS), биотехнологии, использовать биоинформатические подходы и Speed breeding (спид бридинг).

В течение трех лет нами проводилось изучение коллекции яровой и озимой твердой пшеницы, представленной сортами и линиями конкурсного сортоиспытания, полученной из НИЦЗ им. П.П. Лукьяненко. Каждый год мы проводили полевую оценку и изучали технологические свойства зерна, оценивали качество макаронных изделий. Нами проведено молекулярное маркирование 220 образцов (коллекция твердой пшеницы и родительские формы) с целью определения аллельного ландшафта основных генов. В нашем арсенале было более 80 молекулярных KASP, STS и SSR маркеров. Проведён биоинформатический анализ с целью определения эффективности работы KASP-маркеров и достоверности полученных результатов. Аллельное состояние генов HMW-GS (*Glu-A1*, *Glu-B1*) определяли с помощью SDS-PAGE и KASP-анализа. Провели высокопроизводительное генотипирование на матрицах Axiom® 35k Breeders' array. Проведена кластеризация сортов на основании популяционной структуры, стандартного PCA-анализа и анализа родства исследованных линий. Для ускорения создания гомогенных картирующих популяций для различных признаков, нами дополнительно были оптимизированы, инсталлированы и отработаны методы клеточной биотехнологии, среди которых технология получения удвоенных гаплоидов, а также клональное микроразмножение для успешного сохранения ценного генетического материала отдалённых гибридов. Мы провели статистический анализ и поиск ассоциаций на основании трёхлетних данных (полевых исследований и изучения технологических показателей) с обнаруженным при проведении высокопроизводительного генотипирования полиморфизмами.

В результате исследований мы получили ценную информацию о генетической структуре коллекции твердой пшеницы по генам, оказывающим влияние на важные сельскохозяйственные показатели. Выявлены взаимосвязи отдельных субъединиц HMW-GS, а также их сочетаний с показателями качества зерна твердой пшеницы и макаронными свойствами. Разработаны биоинформатические подходы для определения интрогрессии хроматина мягкой пшеницы в хроматин твердой пшеницы при межвидовых скрещиваниях. Полученная информация об интрогрессиях мягкой пшеницы в геном твердой пшеницы и генах, входящих в эти зоны, может быть использована в селекционном процессе для нахождения ассоциаций между определёнными паттернами распределения интрогрессированных фрагментов и фенотипом. Проведенный GWAS позволил обнаружить гены-кандидаты, полиморфизм в которых ассоциирован с хозяйственно-ценными признаками - индекс цвета зерна и количество белка в зерне. Полученная информация об аллельном состоянии генов, а также разработанные нами подходы и методы легли в основу целенаправленного отбора форм при создании перспективных селекционных линий твердой пшеницы.

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта РФ № 21-16-00121.

СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ СЕЛЕКЦИИ ТВЕРДОЙ ЯРОВОЙ ПШЕНИЦЫ В ФГБНУ «ОМСКИЙ АГРАРНЫЙ НАУЧНЫЙ ЦЕНТР»

Евдокимов М.Г., Юсов В.С.

Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Омский аграрный научный центр» (ФГБНУ «Омский АНЦ»).

E-mail: evdokimov@anc55.ru

Западная Сибирь – регион с резким континентальным климатом, который благоприятствует формированию зерна высокого качества [1]. Обилие света и тепла, невысокая влажность воздуха в период налива и созревания зерна, удовлетворительные по плодородию черноземы обеспечивают повышенное содержание белка и высокое качество зерна. В течение вегетационного периода часто проявляются засухи различного вида (почвенные, воздушные). В тоже время в отдельные годы наблюдается сильное развитие грибных болезней [2].

В связи с этим стратегия селекции в регионе предусматривает создание адаптивных сортов для агроландшафтов степной и лесостепной зон различных по типу спелости, засухоустойчивых, с низким поражением или устойчивых к болезням и вредителям, способных в отдельные годы противостоять полеганию и прорастанию, отвечать требованиям ГОСТ по качеству зерна и макарон.

Основные направления селекции твердой пшеницы: дальнейшее повышение продуктивности; адаптивность и засухоустойчивость; качество зерна (натура, стекловидность, содержание белка и клейковины и ее качество); качество макаронных изделий (прочность, цвет, разваримость); устойчивость к полеганию и болезням (бурая и стеблевая ржавчина, твердая и пыльная головня, мучнистая роса); устойчивость к полеганию.

Селекционный процесс включает в себя основные векторы: изучение исходного материала, выделение источников и доноров хозяйственно-ценных признаков, целенаправленный подбор родительских форм для гибридизации, отбор лучших генотипов и их оценка по комплексу признаков в селекционных питомниках.

За период с 1991-2020гг. было изучено более 4 тысяч образцов мирового генофонда, в том числе по программе СИММИТ – 2711, КАСИБ – 251, остальные из поступлений ВИР и других научных учреждений РФ. Выделено: адаптивных – 0,92%, с повышенной натурой – 14,5%, по цвету макарон – 4,7%, устойчивых к 2 болезням – 5,7%, к 3 болезням – 1,4%, к 4 болезням – 0,2%. Использовано в гибридизации – 7,6%. Получено и проработано гибридных комбинаций за 1991-2020 гг. - 3862 (483 комбинации на 1 сорт).

Выделены источники улучшения хозяйственно-ценных признаков и с использованием генетических методов (диаллельного анализа, системы топкроссных и нерегулярных скрещиваний) определена донорская способность лучших генотипов, характер наследования основных хозяйственно-ценных признаков. По результатам оценки была сформирована базовая коллекция, которая была использована в селекции яровой твердой пшеницы в СибНИИСХ. На основе генетической информации намечена стратегия отбора генотипов в гибридных популяциях. Были разработаны обоснованные модели сортов. Сформированная теоретическая база во многом способствовала развитию селекции.

В течение 1991-2023 гг. коллективом лаборатории создано 13 сортов твердой яровой пшеницы, 9 из них включены в Гос. реестр селекционных достижений РФ, 5 – Р. Казахстан.

Получены патенты и авторские свидетельства РФ на сорта: Ангел, Омская янтарная, Омский корунд, Жемчужина Сибири, Омская степная, Омский изумруд, Оазис, Омский циркон, Омская бирюза, Омский коралл, Омский лазурит. Переданы в ГСИ сорта Омский малахит, Омский топаз для испытания в Западно-Сибирском, Восточно-Сибирском и Уральском регионах.

Селекция велась с учетом агроклиматических условий Сибири, их изменениями [3], потребительскими требованиями зернопроизводителей и переработчиков. Были созданы адаптивные сорта с высокой пластичностью Омская янтарная, Омский корунд, Жемчужина Сибири, которые официально признаны для возделывания в Западно-Сибирском, Восточно-Сибирском и Уральском регионах. В последние годы меняются погодные условия из-за потепления климата, наблюдается рост развития болезней пшеницы. Учитываем это при создании сортов, к примеру, устойчивостью к болезням

отличаются сорта Омский коралл, Омский изумруд, Омский лазурит. Меняются требования у переработчиков: многие российские макаронные фабрики приобрели итальянское оборудование, и возросли требования по прочности клейковины, так как технология предусматривает скоростную, высокотемпературную сушку изделий [4]. Уже переданные на государственное испытание новые сорта Омский малахит и Омский топаз обладают не только высоким индексом глютена и высоким содержанием белка, но и отличными показателями цвета, что особенно важно для производства макаронных изделий. Все сорта относятся к разновидности гордеиформе (красный колос с наличием остей), поскольку ранее было нами установлено преимущество красноколосых форм для условий Сибири [5] и выявлена роль остей у твердой пшеницы [6].

Согласно программы селекционных работ на перспективу предусматривается создание сортов твердой пшеницы 3х групп спелости: среднеранние, среднеспелые и среднепозднеспелые с высоким уровнем урожайности. Основные резервы селекционного процесса на продуктивность: подбор исходных форм с учетом соотношения отдельных фаз онтогенеза; правильного соотношения ростовых процессов, функций корневой системы и фотосинтетического аппарата; перераспределения функций органов растения и их вклада; длительности функционирования флагового листа; оптимального соотношения доли зерна к общей биомассе растений.

Особое внимание будет уделено адаптивности сортов к засухе, их экологической пластичности и стабильности.

Создание сортов, устойчивых к листовым грибным (стеблевая и бурая ржавчина, мучнистая роса), колосовым (септориоз, фузариоз, гельминтоспориоз), а также бактериальным (бактериоз), с использованием олигогенов и их сочетания. Поиск новых нерассоспецифических генов устойчивости к стеблевой и бурой ржавчине и их использование для создания системы горизонтальной устойчивости.

Приоритетным также является создание сортов с высоким качеством зерна и макаронных свойств – продукция должна соответствовать всем требованиям по натуре зерна, стекловидности, содержанию белка и клейковины и ее качеству (особенно физическим свойствам), прочности, цвету макаронных изделий (с янтарным оттенком).

На перспективу остается актуальным создание сортов, устойчивых к полеганию на основе выделенных источников и доноров по анатомо-морфологическим элементам с оптимальной высотой растений.

Список литературы:

1. Агроклиматические ресурсы Омской области. Л. Гидрометеиздат, 1971.- 188 с.
2. Юсов В.С., Евдокимов М.Г., Мешкова Л.В., Глушаков Д.А. Создание сортов яровой твердой пшеницы, устойчивых к стеблевой ржавчине в Западной Сибири. //Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции. 2021.-182(2).- С.131-138. DOI: 10.30901/2227-8834-2021-2-131-138.
3. Паромов В.В., Земцов В.А., Копысов С.Г. Климат Западной Сибири в фазу замедления потепления (1986 – 2015гг.) и прогнозирование гидроклиматических ресурсов на 2021-2030гг. // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг ресурсов. – 2017.- т.328.-№1.- С. 62-74.
4. Юсов В.С., Евдокимов М.Г., Пахотина И.В., Кирьякова М.Н. Улучшение качества клейковины сортов яровой твердой пшеницы в Омском АНЦ. // Достижения науки и техники АПК. 2022.- Т. 36.- № 9. -С. 55-59.
5. Евдокимов М.Г., Юсов В.С. Селекция адаптивных сортов яровой твердой пшеницы // Проблемы селекции и семеноводства полевых культур в Западной Сибири и Казахстане: Материалы семинара 27-28 февраля 2001г. / Кулундинская СХОС. – Барнаул, 2001. – С. 16-22.
6. Евдокимов М.Г. Селекция яровой твердой пшеницы в Прииртышье. Омск, 2006. – 259 с.

РАЗРАБОТКА МОЛЕКУЛЯРНЫХ МАРКЕРОВ НА ОСНОВЕ РЕЗУЛЬТАТОВ GWAS ДЛЯ УЛУЧШЕНИЯ ТВЕРДОЙ ПШЕНИЦЫ

Ермолаев А.С.¹, Беспалова Л.А.², Мудрова А.А.², Яновский А.С.², Воропаева А.Д.², Карлов Г.И.¹, Дивашук М.Г.¹

1 – ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт сельскохозяйственной биотехнологии» (ФГБНУ ВНИИСБ), Москва, 127550

E-mail: ermol-2012@yandex.ru

2 – ФГБНУ «Национальный центр зерна им. П.П. Лукьяненко», Краснодар 350012

Пшеница является одной из наиболее важных злаковых сельскохозяйственных культур. На сегодня в мире выращиваются несколько видов пшеницы, однако два являются преобладающими – мягкая пшеница (*Triticum aestivum*), которая составляет 90% от всей производимой пшеницы, и твердая пшеница (*Triticum durum*), которая занимает 8-9% от всей производимой пшеницы (Sulek *et al.*, 2023). После успеха "Зеленой революции" в 1960-1980-х годах, приведшей к созданию полу-карликовых не чувствительных к длине светового дня сортов, разработка новых разновидностей ведется за счет внесения дополнительных характеристик. Позиции в геноме, изменение которых приводит к изменению фенотипа, называются нуклеотиды количественных признаков (QTN, Quantitative Trait Nucleotide). Идентификация QTN и отбор их в селекционном процессе с помощью MAS (Marker-assisted selection) позволяет значительно ускорить получение новых разновидностей (Maccaferri *et al.*, 2022).

Полногеномный анализ ассоциаций (GWAS, Genome-wide association study) позволяет найти ассоциации между вариацией генотипа на множестве позиций в геноме и фенотипом. Однонуклеотидные полиморфизмы (SNP, Single Nucleotide Polymorphism) являются наиболее часто используемыми мутациями для GWAS. Статистически ассоциированные SNP могут быть использованы как маркеры напрямую, если они окажутся эффекторными, или они могут быть использованы для поиска гена-кандидата, поблизости от статистически ассоциированного SNP. Гены-кандидаты могут быть секвенированы в контрастных по фенотипу сортах для поиска полиморфизма и найденные мутации могут быть использованы как маркеры в селекционном процессе.

Нами был проведен GWAS на 190 сортах твердой пшеницы, которые были генотипированы на SNP-микрочипе 35K Axiom Arrays. После фильтрации SNP по качеству генотипирования, частоте минорного аллеля (удаление вариантов с MAF <5%), количеству пропущенных SNPs, осталось 6212 вариантов. Поиск ассоциаций был проведен для 7 технологических параметров зерна: содержание белка в зерне, влажность зерна, индекс клейковины, индекс цвета зерна, содержание крахмала в зерне, натуральный вес зерна и SDS. Были обнаружены статистически ассоциированные SNP для содержания белка в зерне, индекса цвета и натурального веса. Рядом со статистически значимыми SNP на основании литературных данных и GO (Gene Ontology) аннотации были выбраны гены-кандидаты для секвенирования и поиска полиморфизмов у контрастных по фенотипу образцов. Для количества белка в зерне рядом со статистически ассоциированным вариантом на хромосоме 4B был идентифицирован ген-кандидат Serine acetyltransferase 2 (*sat2*), согласно GO-аннотации вовлеченный в синтез цистеина. Данный ген был секвенирован у контрастных по фенотипу сортов твердой пшеницы и был найден SNP-полиморфизм, на который был разработан KASP-маркер. Разработанный маркер показал хорошую аллельную дискриминацию и был протестирован на коллекции яровых и озимых сортов. Статистический анализ показал стабильную ассоциацию с количеством белка в зерне на 4-летних фенотипических данных (2020-2023 года), но только для яровых сортов. Для озимых сортов маркер не показывал ожидаемой статистически значимой разницы между

образцами с разными аллелями ни в одном году. Разработанный маркер может быть использован для ускорения селекционного процесса яровой твердой пшеницы и создания форм с увеличенным количеством белка.

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта РФФИ № 21-16-00121.

Список литературы:

1. Sulek A, Cacak-Pietrzak G, Rózewicz M, Nieróbca A, Grabiński J, Studnicki M, Sujka K, Dziki D. Effect of Production Technology Intensity on the Grain Yield, Protein Content and Amino Acid Profile in Common and Durum Wheat Grain. *Plants*. 2023. 12(2):364.
2. Maccaferri, M., Martina B., Roberto T. Sequence-Based Marker Assisted Selection in Wheat. *Wheat Improvement: Food Security in a Changing Climate*. Cham: Springer International Publishing, 2022. 513-538.
3. Wang, Jiabo, and Zhiwu Zhang. "GAPIT version 3: boosting power and accuracy for genomic association and prediction." *Genomics, proteomics & bioinformatics* 19.4 (2021): 629-640.
4. Huang, Meng, et al. "BLINK: a package for the next level of genome-wide association studies with both individuals and markers in the millions." *Gigascience* 8.2 (2019): giy154.

ИСТОЧНИКИ ХОЗЯЙСТВЕННО-ЦЕННЫХ ПРИЗНАКОВ ОЗИМОЙ ТВЕРДОЙ ПШЕНИЦЫ

Иванисова А.С.

***ФГБНУ «Аграрный научный центр «Донской» (ФГБНУ «АНЦ «Донской»), зерноград
347740;***

E-mail: kameneva.anka2016@yandex.ru

Озимая твердая пшеница – важнейшая макаронно-крупяная культура нашей страны. Растущая потребность в пищевых ресурсах побуждает к созданию новых более продуктивных форм, превосходящих по урожайности современные сорта этой культуры. Получение таких сортов, в значительной мере зависит от правильного подбора исходного материала, как первого и очень существенного этапа селекционного процесса [1].

Целью работы являлось выделение источников хозяйственно-ценных признаков озимой твердой пшеницы для дальнейшего использования их в селекционном процессе.

Исследования проводились в 2020-2022 гг. в условиях южной зоны Ростовской области. В межстанционном испытании изучалось 53 сорта озимой твердой пшеницы различного экологического происхождения селекции: ФГБНУ «АНЦ «Донской», ФГБНУ «НЦЗ им. П.П. Лукьяненко», ФГБНУ «Северо-Кавказский ФНАЦ» и селекционно-генетического института. В качестве стандарта использовался сорт Кристелла.

За период исследований сохранность растений в опыте варьировала в широких пределах от 37,1 % у сорта Андромеда (Украина) до 95,4 % у сорта Киприда (Россия), у стандарта Кристелла – 81,2 %. Высокие показатели по данному признаку были получены у таких образцов как: Гелиос (90,9 %), Босфор (91,1 %), Лакомка (92,2 %), Терра (92,9 %), Амазонка (93,0 %), Аксинит (94,6 %), Киприда (95,4 %) (Россия), данные сорта можно использовать, как источники морозостойкости.

По дате колошения изучаемые в опыте сорта были представлены тремя группами спелости. Основная часть образцов – 26, относились к среднеспелой группе спелости, колошение у них наступало с 23 по 25 мая. К позднеспелой группе относилось 15 сортов, колошение наступало с 26 по 29 мая. К среднеранней группе относилось 12 сортов, колошение которых наступало с 20 по 22 мая: Диона, Круча, Донской янтарь, Гелиос, Континент и др. (Россия), их рекомендуется использовать в качестве источников раннеспелости.

Селекционерами установлено, что низкорослые формы озимой твердой пшеницы более успешно противостоят полеганию и в силу этого способны давать высокие урожаи зерна, соответствующие требованиям интенсивного земледелия [2]. Так, высота растений сортов озимой твердой пшеницы в межстанционном испытании варьировала от 77,4 см у сорта Курант (Россия) до 100,6 см у сорта Золотое руно (Россия). Основная масса образцов (46 шт.) имели высоту растений 86-105 см. Необходимо выделить 7 генотипов-источников короткостебельности: Курант, Диона, Донской янтарь, Живица, Ласка (Россия), Континент, Акведук (Украина), с длиной стебля которых составила от 77,1 до 85,1 см.

Важным признаком в повышении продуктивности растений пшеницы является масса 1000 зерен [2]. Так, в наших исследованиях масса 1000 зерен сортов озимой твердой пшеницы находилась в пределах от 32,3 г у сорта Степной янтарь (Россия) до 45,3 г у сорта Босфор (Украина). Основная часть образцов (34 шт.) имели зерно средней крупности (35,0-39,9 г). Необходимо выделить генотипы с массой 1000 зерен выше 40,0 г: Яхонт, Ласка (40,3 г), Круча (41,2 г), Белка (41,5 г), Кордон (41,6 г), Одари (43,0 г), Белла (44,5 г) (Россия), Босфор (45,3 г), Континент (43,2 г) (Украина), которые рекомендуются использовать в селекционной практике как источники крупнозерности.

У хлебных злаков к идеальному типу следует отнести такие растения, которые обеспечивают накопление наибольшего урожая зерна, устойчивость его по годам при различных погодных условиях [3]. Урожайность сортов озимой твердой пшеницы в межстанционном испытании варьировала от 6,60 т/га (Аргонавт) до 9,79 т/га (Кордон), у стандарта Кристелла – 8,40 т/га. Основная масса образцов (21 шт.) имели продуктивность на уровне стандартного сорта Кристелла ($HCPO5 = \pm 0,45$ т/га). Высокой урожайностью в опыте обладали 13 сортов озимой твердой пшеницы: Амазонка (8,86 т/га), Яхонт (8,90 т/га), Лакомка (9,60 т/га), Донской янтарь (8,87 т/га), Кручинка (9,20 т/га), Белка (9,21 т/га), Синьора (9,24 т/га), Цитрина (9,65 т/га), Кордон (9,79 т/га) (Россия), Гавань (9,28 т/га) (Украина).

В ходе корреляционного анализа были выявлены средние положительные взаимосвязи урожайности с массой 1000 зерен ($r=0,48 \pm 0,12$) и морозостойкостью ($r=0,30 \pm 0,13$).

По результатам исследований за изучаемый период (2020-2022 гг.) отобраны сорта – источники для условий Ростовской области, выделившихся по хозяйственно-ценным признакам: Амазонка, Донской янтарь, Яхонт, Лакомка, Кручинка, Синьора, Белка, Одари, Кордон, Белла, Цитрина (Россия), Гавань (Украина).

Выделенные генотипы ценных признаков и свойств могут внести свой вклад в реализацию селекционных программ по созданию сортов твердой пшеницы.

Список литературы:

1. Мальчиков П.Н., Зотиков В.И., Сидоренко В.С., Шаболкина Е.Н., Мясникова М.Г., Оганян Т.В. Перспективы улучшения крупяных качеств твердой пшеницы в процессе селекции // Зернобобовые и крупяные культуры. – 2016. – № 3 (19). – С. 101-108.
2. Иванисов М.М., Марченко Д.М., Некрасов Е.И. Оценка сортов озимой мягкой пшеницы в межстанционном испытании по хозяйственно-ценным признакам // Зерновое хозяйство России. – 2022. – № 1 (79). – С. 11-16.
3. Lozhkin A.G., Makushev A.E., Vasiliev O.A., Shashkarov L.G., Push-karenko N.N., Malchikov P.N. Evaluation of spring durum wheat varieties by yield, structure and grain quality // В сборнике: IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. International AgroScience Conference, AgroScience.– 2019. –2020. – С. 012045.

АЛЛЕЛЬНЫЙ ЛАНДШАФТ ХОЗЯЙСТВЕННО-ЦЕННЫХ ГЕНОВ ТВЁРДОЙ ПШЕНИЦЫ В КОЛЛЕКЦИИ НЦЗ ИМЕНИ П.П. ЛУКЬЯНЕНКО

Коробкова В.А.¹, Беспалова Л.А.², Яновский А.С.², Воропаева А.Д.², Архипов А.В.¹, Карлов Г.И.¹, Дивашук М.Г.¹

*1 – ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт сельскохозяйственной биотехнологии», Москва 127550;
E-mail: bowlingistka@gmail.com*

2 – ФГБНУ «Национальный центр зерна им. П.П. Лукьяненко», Краснодар 350012

Современное сельское хозяйство находится под влиянием многочисленных факторов, в числе которых жесткая рыночная конкуренция, глобальные изменения климатических условий, ускорение изменений расового состава патогенных комплексов. Кроме того, потребители всё чаще обращают внимание на высококачественные продукты для здорового питания, что в свою очередь ведёт к повышению требований производителей к качеству сырья. В связи с чем перед селекционерами стоит задача по увеличению интенсификации селекционного процесса с упором на повышение адаптивности сортов и улучшения их качественных показателей. Твёрдая пшеница – одна из важнейших для человечества культур. Макароны, крупы и другие продукты, получаемые из зерна твёрдой пшеницы, ежедневно потребляются миллионами людей по всему миру. В Национальном центре зерна (НЦЗ) им. П.П. Лукьяненко – флагмане отечественной сельскохозяйственной науки – активно ведётся селекционная программа по улучшению и созданию новых высоко адаптивных сортов яровой и озимой твёрдой пшеницы с высокими показателями качества зерна [1]. Отделом селекции и семеноводства пшеницы и тритикале ведётся изучение коллекции твердой пшеницы, состоящей из сортов и перспективных линий. Помощниками в повышении эффективности, а также в сокращении объемов селекционных работ выступают молекулярные маркеры, в том числе маркеры нового поколения – KASP-маркеры.

Собранная и выращенная в Национальном центре зерна (НЦЗ) им. П.П. Лукьяненко коллекция яровой (128 образцов) и озимой (144 образца) твердой пшеницы была проанализирована на аллельное состояние генов, детерминирующих ценные для селекции признаки: чувствительность к фотопериоду, устойчивость к болезням, потребность в яровизации, наличие пшенично-ржаных транслокаций, редукция высоты, содержание каротиноидов в зерне и др. Исследование проводилось с помощью молекулярных маркеров, в том числе KASP-маркеров, не требующих проведения гель-электрофореза для визуализации результатов ПЦР. Аллельные варианты генов высокомолекулярных глютеинов, влияющих на показатели качества клейковины, определяли по совокупности методов KASP-анализа и SDS-PAGE.

В результате исследований нами получена информация о структуре коллекции твёрдой пшеницы по различным генам, влияющим на хозяйственно-ценные признаки. Получены данные об аллельном разнообразии важных для селекции генов в коллекции озимой и яровой твердой пшеницы [2,3]. Определены генотипы, в которых сочетаются аллели с позитивным влиянием на признаки качества и адаптивности к стрессовым условиям.

Полученные данные могут помочь селекционерам в процессе подбора пар для скрещиваний. Молекулярные маркеры – мощный инструмент в руках селекционеров, так как они позволяют проводить более точный отбор форм с нужными аллелями на ранних этапах селекции, что в свою очередь сократит объём селекционных работ.

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта РФФИ № 21-16-00121.

Список литературы:

1. Беспалова Л.А., Васильев А.В., Аблова И.Б., Филобок В.А., Худокормова Ж.Н., Давоян Р.О., Давоян Э.Р., Карлов Г.И., Соловьев А.А., Дивашук М.Г., Майер Н.К., Дудников М.В., Мироненко Н.В., Баранова О.А. Применение молекулярных маркеров в селекции пшеницы в Краснодарском НИИСХ им. П.П. Лукьяненко // Вавиловский журнал генетики и селекции. – 2012. – Т. 16. – №. 1. – С. 37-43.
2. Коробкова В.А., Беспалова Л.А., Яновский А.С., Воропаева А.Д., Архипов А.В., Ширнин С.Ю., Черноок А.Г., Никитина Е.А., Ульянов Д.С., Мудрова А.А., Букреева Г.И., Карлов Г.И., Дивашук М.Г. Скрининг коллекции яровой и озимой твёрдой пшеницы с помощью KASP-маркера на аллельное состояние гена *Zds*. Кормопроизводство, 2023, 4: 25-31 (doi: 10.25685/KRM.2023.4.2023.004).
3. Архипов А.В., Беспалова Л.А., Яновский А.С., Воропаева А.Д., Черноок А.Г., Коробкова В.А., Назарова Л.А., Ульянов Д.С., Самарина М.А., Мудрова А.А., Карлов Г.И., Дивашук М.Г. Изучение коллекции твёрдой пшеницы по аллельным вариантам генов короткостебельности. *Кормопроизводство*. 2023. № 5. С. 19-25. (doi: 10.25685/KRM.2023.5.2023.003)

ВЛИЯНИЕ ЗАПАСНЫХ БЕЛКОВ ТВЕРДОЙ ПШЕНИЦЫ НА КАЧЕСТВО КОНЕЧНОЙ ПРОДУКЦИИ

Коробкова В.А.¹, Крупина А.Ю.¹, Назарова Л.А.¹, Крупин П.Ю.¹, Беспалова Л.А.², Яновский А.С.², Мудрова А.А.², Букреева Г.И.², Пузырная О.Ю.², Агаева Е.В.², Воропаева А.Д.², Архипов А.В.¹, Ульянов Д.С.¹, Карлов Г.И.¹, Дивашук М.Г.¹

*1 – ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт
сельскохозяйственной биотехнологии», Москва 127550;*

E-mail: bowlingistka@gmail.com

2 – ФГБНУ «Национальный центр зерна им. П.П. Лукьяненко», Краснодар 350012

Твердая пшеница – культура, важность которой сложно переоценить, каждый день множество людей употребляют в пищу те или иные продукты, получаемые из ее зерна. Потребители все больше проявляют интерес к макаронам и крупам с улучшенными качествами, что выступает мощным стимулом к повышению требований производителей к качеству сырья. Показатели, которым уделяется особое внимание это различные составляющие качества клейковины, а также свойства макарон. Одним из факторов, влияющих на качество клейковины, выступают высокомолекулярные глютенины. Гены *NMW-GS* отличаются большим разнообразием аллельных вариантов (субъединиц белков), различающихся по своему влиянию на качество зерна твердой пшеницы [1]. Изучение аллельного состояния генов *Glu-1*, а также оценка их влияния на показатели качества клейковины и конечной продукции, это важный этап в селекции твердой пшеницы, направленной на повышение качества продуктов, производимых из зерна твердой пшеницы.

С помощью двух методов молекулярной биологии (SDS-PAGE и KASP-анализа) нами была изучена коллекция твердой пшеницы, собранная в Национальном центре зерна (НЦЗ) им. П.П. Лукьяненко, представленная яровыми (69) и озимыми (76) сортами и линиями КСИ. В результате исследований нами получены данные о структуре коллекций по аллельному состоянию генов *Glu-A1* и *Glu-B1*. Мы также проанализировали эффекты аллельных вариантов *Glu-A1* и *Glu-B1* в отношении качества зерна и макаронных изделий [2,3].

По локусу *Glu-A1* в обеих коллекциях отмечено преобладание аллеля *Glu-A1c*. Аллель *Glu-A1a* встречался у озимых образцов (14%). По локусу *Glu-B1* озимая коллекция

представлена в основном аллелем *Glu-B1b*, а яровая коллекция – аллелем *Glu-B1a1*. В коллекции яровой твердой пшеницы среди 7 образцов, несущих редкий аллель *Glu-B1z* (Vx7+Vy15), с помощью KASP-анализа удалось выделить 5 образцов, отличающихся SNP в промоторной области гена, кодирующего субъединицу Vx7. Аллель с вариантом «С» мы обозначили *Glu-B1z** [4]. Аллельные варианты генов *Glu-A1* и *Glu-B1*, а также их сочетания оказывали различное влияние на глютеновый индекс, содержание клейковины и белка, объём SDS седиментации и коэффициент разваримости макарон.

Применение KASP-маркеров облегчает процесс идентификации белковых субъединиц, которые трудно или невозможно достоверно отличить с помощью SDS-PAGE. Полученные данные расширяют представления о влиянии высокомолекулярных глютеинов на качество зерна, клейковины и макаронных изделий и могут быть полезны в селекционной работе по улучшению твердой пшеницы и созданию востребованных в производстве сортов.

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта РФФИ № 21-16-00121.

Список литературы:

1. Roncallo P.F., Guzmán C., Larsen A.O., Achilli A.L., Dreisigacker S., Molfese E., Astiz V., Ech-enique V. Allelic variation at glutenin loci (Glu-1, Glu-2 and Glu-3) in a worldwide durum wheat collection and its effect on quality attributes. *Foods*, 2021, 10(11): 2845 (doi: 10.3390/foods10112845).
2. Kroupin P.Y., Beshpalova L.A., Kroupina A.Y., Yanovsky A.S., Korobkova V.A., Ulyanov D.S., Karlov G.I., Divashuk M.G. Association of High-Molecular-Weight Glutenin Subunits with Grain and Pasta Quality in Spring Durum Wheat (*Triticum turgidum* spp. durum L.). *Agronomy*. 2023;13:1510. (doi:10.3390/agronomy13061510)
3. Kroupina A.Y., Yanovsky A.S., Korobkova V.A., Beshpalova L.A., Arkhipov A.V., Bukreeva G.I., Voropaeva A.D., Kroupin P.Y., Litvinov D.Y., Mudrova A.A., et al. Allelic Variation of *Glu-A1* and *Glu-B1* Genes in Winter Durum Wheat and Its Effect on Quality Parameters. *Foods*. 2023;12(7):1436. (doi:10.3390/foods12071436)
4. Коробкова В.А., Крупина А.Ю., Архипов А.В., Яновский А.С., Воропаева А.Д., Беспалова Л.А., Мудрова А.А., Назарова Л.А., Магомедов М.М., Крупин П.Ю., Самарина М.А., Ульянов Д.С., Карлов Г.И., Дивашук М.Г. Разнообразие аллельного состояния генов Glu-1 в коллекции образцов твердой пшеницы (*Triticum durum* Desf.). *Сельскохозяйственная биология*. 2023;58(5): 840-851. (doi:10.15389/agrobiol.2023.5.840rus)

SPEED BREEDING (СПИД БРИДИНГ) ДЛЯ ТВЕРДОЙ ПШЕНИЦЫ – МИФ ИЛИ РЕАЛЬНОСТЬ?

Кочешкова А.А., Блинков А.О., Свистунова Н.Ю., Радзенице С.Б., Алкубеси М., Дивашук М.Г., Карлов Г.И.

ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт сельскохозяйственной биотехнологии», Москва, 127550

Под термином «speed breeding» (спид бридинг) подразумевается ряд технологических приёмов, направленных на индукцию ускоренного зацветания и созревания семян, сокращения времени от семени до семени. Следует подчеркнуть, что «speed breeding» (спид бридинг) это именно комплекс приёмов, так как использование только одного из множества не приведёт к существенному укорачиванию времени от посева до сбора урожая. К таким приёмам относится качество света (спектральный состав, интенсивность), фотопериод, дневные и ночные температуры, влажность воздуха,

площадь питания и ряд других параметров. Перечисленные приёмы направлены на ускорение перехода растения к генеративной фазе.

Настоящая работа посвящена подбору условий технологии «speed breeding» (спид бридинг) для твердой яровой пшеницы российской селекции. В качестве объекта исследования была использована твердая яровая пшеница сорта Ясенка.

Злаки проявляют очень высокую чувствительность к изменению различных параметров, способствующих ускорению времени зацветания. В свою очередь и твердая яровая пшеница была продемонстрировала отзывчивость на комплекс параметров, применяемых для ускорения перехода к генеративной фазе. Однако, в отличие от мягкой пшеницы и тритикале, твердая пшеница была более чувствительна к высокой интенсивности света, который негативно влиял на скорость наступления колошения. При этом наличие дальнего красного в спектре света, значительно ускоряло переход к генеративной фазе у твердой пшеницы, в то время как на мягкой пшенице эффект дальнего красного спектра света был не значительным.

В среднем, у твердой пшеницы время до наступления цветения составляло 40 дней с момента посева. Для сокращения периода созревания зерна оптимальным является метод сушки колосьев, срезанных в фазу начальной восковой спелости. Для этого колосья срезают через 3 недели после цветения. Другим приёмом, позволяющим сэкономить время между цветением и созреванием, является изолирование зародышей из незрелых зерновой. Изолирование возможно производить уже на 14-20 сутки после цветения. За неделю культивирования зародыши достигают стадии, пригодной для пересадки в почву.

Учитывая полученные нами результаты выращивания твердой яровой пшеницы по технологии «speed breeding» (спид бридинг), в условиях наших климатических камер мы можем получать более 5 поколений твердой пшеницы в год.

Исследование выполнено при финансовой поддержке гранта РФФИ № 21-16-00121

РЫНОК ТВЁРДОЙ ПШЕНИЦЫ И ТРЕБОВАНИЯ ПЕРЕРАБАТЫВАЮЩИХ ПРЕДПРИЯТИЙ К ЕЁ КАЧЕСТВУ

Курашов М. Ю.

***ООО «Барилла Рус», г. Москва
E-mail: michael.kurashov@barilla.com***

Твердая пшеница выращивается во многих странах, производящих обычную пшеницу. Сюда входят страны Европейского Союза (ЕС), Содружества Независимых Государств (СНГ), Северной Америки, Южной Америки, Азии, Африки и Океании. Однако большая часть производства твердой пшеницы приходится на Северную Америку, при этом производство твердой пшеницы в Канаде (около 7,8 млн тонн) почти в три раза превышает производство в Соединенных Штатах (США) и Мексике. К другим известным странам-производителям твердых сортов пшеницы относятся Италия (4,950 т) и Турция (3,62 т). В России твердую пшеницу в основном выращивают в Поволжье (Саратовская и Самарская области) и на Юге Урала (Оренбургская и Челябинская области).

По данным Барилла в России в среднем за последние 5 лет посевные площади под твёрдой пшеницей составляли в среднем 640 тыс га., урожайность – 1,1 т/га, а валовый сбор – 700 тыс т. Крупнейшими регионами – производителями зерна твёрдой пшеницы являются Оренбургская и Челябинские области, которые производят в среднем около 269 и 172 тыс. т, соответственно.

Общемировой объем торговли зерном твёрдой пшеницы составляет около 35 млн т. Лидером по экспорту данной культуры является Канада, которая поставляет на мировой рынок около 5 млн т в зависимости от сезона. В то же время, Россия, являясь мировым

лидером по экспорту мягкой пшеницы (20% от мировой торговли), является совсем незначительным игроком в мировой торговле твёрдой пшеницей с долей – менее 1%. В то же время Россия имеет большой потенциал в увеличении экспорта зерна твёрдой пшеницы.

Важно также отметить, что при возделывании твердой пшеницы прежде всего нужно обращать внимание на качество получаемого зерна, рыночные требования к которому периодически обновляются. Многие относительно урожайные сорта в наши дни уже могут не соответствовать требованиям рынка по определенным показателям. Традиционно в России обращают внимание на стекловидность, содержание белка, сырой клейковины, индекс ее деформации и натуру. А в европейской практике широко используют такие дополнительные показатели как качество глютена (индекс глютена) и цвет крупки (Индекс Minolta b).

Российская Федерация имеет большой потенциал экспорта зерна твёрдой пшеницы и возможность существенно потеснить на этом рынке главного экспортера данной культуры – Канаду. В первую очередь необходимо создание как яровых, так озимых сортов твердой пшеницы, обладающих высокими показателями качества клейковины и цвета. Также немаловажным шагом является отмена демпфера на экспорт твёрдой пшеницы, что придаст дополнительный стимул к её выращиванию со стороны сельхозтоваропроизводителей.

ГЕНОТИПИРОВАНИЕ СОРТОВ ПШЕНИЦЫ (*TRITICUM AESTIVUM* L.) СЕЛЕКЦИИ СЕВЕРО-КАВКАЗСКОГО ФЕДЕРАЛЬНОГО НАУЧНОГО АГРАРНОГО ЦЕНТРА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МИКРОСАТЕЛЛИТНЫХ ДНК-МАРКЕРОВ

Кухарук М.Ю., Черкасова Е.В.

***ФГАОУ ВО «Северо-Кавказский федеральный университет» (ФГАОУ ВО СКФУ),
Ставрополь 355017;
E-mail: mkukharuk@ncfu.ru***

В современной селекции генотипирование сортов сельскохозяйственных культур становится неотъемлемой частью селекционных программ. Всё больше набирает популярность ДНК-идентификация пшеницы, основанная на полиморфизме SSR-маркеров, или микросателлитов. С их помощью можно паспортизировать и классифицировать сорта, картировать гены хозяйственно ценных признаков, проводить генетический мониторинг в селекции и семеноводстве, подбирать родительские пары при скрещивании, составлять родословные, поддерживать генетические коллекции [1]. Целью данного исследования явилось изучение генетического разнообразия пшеницы (*Triticum aestivum* L.) селекции Северо-Кавказского федерального научного аграрного центра.

В качестве исходного материала использовались семена 10 сортов озимой пшеницы (*Triticum aestivum* L.): Ксения, Фируза 40, Багира, Каролина 5, Николь 2, Арсенал, Статус, Иван, Стать, Паритет. Они были предоставлены Ставропольским научно-исследовательским институтом сельского хозяйства г. Михайловск (филиал Северо-Кавказского ФНАЦ). Для генотипирования были взяты 25 пар микросателлитных праймеров [2]. С ними была проведена ПЦР с применением реакционной смеси 5X ScreenMix-HS (Евроген) в MiniAmp Plus (Thermo Fisher Scientific). Режим амплификации имел следующий вид: предварительная денатурация - 1 цикл при 94° С 3 мин; далее 46 циклов: денатурация - 94°С 1 мин., отжиг праймеров - 50, 55 или 60°С 1 мин. (в зависимости от праймера), элонгация - 72° С 2 мин., заключительный шаг расширения -

72° С 10 мин [3]. Визуализацию результатов проводили при помощи горизонтального электрофореза в 2% агарозном геле с использованием бромистого этидия.

При генотипировании отобранными праймерами были получены следующие результаты:

– Праймер Xgwm44-7D показал участки около 176 и 178 и 500 п.н. у 2 сортов (Николь 2 и Сталь) и около 178 п.н. и 500 п.н. у остальных 8 сортов (Ксения, Фируза 40, Багира, Каролина 5, Арсенал, Статус, Иван, Паритет);

– Праймер Xgwm111-7D показал участки около 150 п.н., 184 п.н., 206 п.н., 400 п.н. и 800 п.н. у всех 10 сортов;

– Праймер Xgwm120-2В показал участки около 162 п.н. и 174 п.н. у сортов Ксения, Фируза 40, Багира, Каролина 5, Николь 2, Арсенал, Сталь, а также участки около 162 п.н., 174 п.н. и 400 п.н. у сортов Статус, Иван, Паритет;

– Праймер Xgwm130-7А показал участки около 300 п.н. у сорта Фируза 40;

– Праймер Xgwm148-2В показал участки около 145 п.н. и 165 п.н. у сортов Ксения, Фируза 40, Багира, Каролина 5, Арсенал, Статус, Иван, Сталь, Паритет, и участки около 200 и 500 у сорта Николь 2;

– Праймер Xgwm149-4В показал участки около 190 п.н. и 280 п.н., 400 п.н. у сортов Ксения, Фируза 40, Багира, Каролина 5, Арсенал, Статус, Иван, а также участки около 300 п.н. и 350 п.н. у сорта Николь 2;

– Праймер Xgwm153-1В показал участки около 100 п.н., 195 п.н., 250 п.н. у сортов Фируза 40, Багира, Каролина 5, Николь 2, Арсенал, Сталь, Паритет, а также участки около 100 п.н., 195 п.н., 250 п.н. и 310 п.н. у сортов Ксения, Статус, Иван;

– Праймер Xgwm156-5А показал участки около 279 п.н. и 300 п.н. у сортов Ксения, Фируза 40, Багира, участки около 250, 300 п.н. и 400 п.н. у сорта Каролина 5, участки около 200, 279 п.н. и 400 п.н. у сорта Статус, участки около 200 п.н., 300 п.н. и 600 п.н. у сорта Иван, участки около 279 п.н. и 600 п.н. у сорта Сталь, участок около 279 п.н. у сорта Паритет;

– Праймер Xgwm190-5D показал участок около 220 п.н. у всех 10 сортов;

– Праймер Xgwm371-5В показал участки около 191 п.н. и 400 п.н. и 500 п.н. у сортов Статус, Иван, Сталь, Паритет, участки около 176 п.н. и 300 п.н. у сорта Багира, участок около 500 п.н. у сортов Ксения и Каролина 5, участок около 176 п.н. у сорта Николь 2;

– Праймер Xgwm383-3D показал участок около 199 п.н. у сортов Статус, Иван, Сталь, Паритет;

– Праймер Xgwm495-4В показал участки около 160 п.н. и 300 п.н. у всех 10 сортов;

– Праймер Xgwm642-1D показал участки около 179 п.н. и 187 п.н. у всех 10 сортов;

– При проведении визуализации Xgwm55-2В, Xgwm55-6D, Xgwm132-6В, Xgwm264-3В, Xgwm325-6D, Xgwm334-6А, Xgwm359-2А, Xgwm389-3В, Xgwm493-3В, Xgwm540-5В вышел только праймер без целевых участков, поэтому для них идёт оптимизация условий ПЦР;

– При проверке праймеров Xgwm340-3В и Xgwm372-2А участков не было обнаружено. Будет проведена их повторная постановка для исключения ошибки ПЦР.

Список литературы:

1. Agarwal M., Shrivastava N., Padh H. Advances in molecular marker techniques and their applications in plant sciences // Plant Cell Reports. – 2008. – V.27. – P. 617–631.
2. Naghavi M.R., Mardi M., Ramshini H.A., Fazelinasab B. Comparative Analyses of the Genetic Diversity among Bread Wheat Genotypes Based on RAPD and SSR Markers. // Iran. J. Biotechnol. – 2004. – V. 2. – P. 195-202.
3. Röder M.S, Korzun V., Wendehake K., Plaschke J., Tixier M.H., Leroy P., Ganal M.W. A microsatellite map of wheat. // Genetics. – 1998. – V.149. – P. 2007–2023.

ОЦЕНКА УСТОЙЧИВОСТЬ К ЗАСУХЕ ТВЕРДЫХ ЛИНИИ ПШЕНИЦЫ (*TRITICUM DURUM*) В ЦЕНТРАЛЬНОЙ ЧАСТИ УЗБЕКИСТАНА

Мавланов Д.С.¹, Наджодов Б.Б.² Мавланов Л.Б.¹, Халикулов Д.Х.¹

1 – Научно-исследовательский институт Богарного земледелия, (НИИ Богарного земледелия) Джизак 130400, Узбекистан, E-mail: jmavlanov94@gmail.com

2 – ФГБОУ ВО «Российский государственный аграрный университет имени К.А. Тимирязева» (РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева), Москва 127550, Россия
E-mail: boburnajodov@gmail.com

Твердая пшеница (*Triticum turgidum* L. ssp. *durum*) с генетической формулой $2n=28$, AABB, представляет собой важное и коммерчески значимое сельскохозяйственное растение, культивируемое на более чем 17 миллионах гектаров по всему миру (Tidiane et al., 2019; Хуняс et al., 2020). Однако несмотря на то, что около двух третей твердой пшеницы произрастает в Средиземноморье, эта территория обеспечивает лишь половину всемирного производства (Li et al., 2013; Kabbaj et al., 2017). Изменение климатических условий влияет и будет продолжать влиять на урожайность. Прогнозы указывают на снижение годовых осадков на 20-40% к середине XXI века (Zittis et al., 2021).

Засухи, которые происходят во время цветения и сбора урожая озимой пшеницы в засушливых районах Узбекистана, серьезно снижают производительность и качество урожая. Засухоустойчивые сорта пшеницы могут эффективно использовать доступные запасы влаги в почве благодаря развитой корневой системе. Следовательно, актуальной задачей в селекции пшеницы является создание сортов, которые будут устойчивы к засухе, обладать хорошо развитой корневой системой и способностью эффективно использовать влагу и питательные вещества, сохранные в нижних слоях почвы.

Цель нашего исследования заключается в оценке устойчивости к засухе новых линий твердой пшеницы, предоставленных Международным центром сельскохозяйственных исследований для засушливых регионов (ICARDA), как в лабораторных, так и в полевых условиях. Дополнительной целью нашей работы является создание исходного материала для будущих селекционных работ по созданию засухоустойчивых сортов твердой пшеницы.

Мы провели исследование, используя 19 линий твердой пшеницы. Для оценки засухоустойчивости провели полевые и лабораторные эксперименты, включая выращивание семян пшеницы в растворе сахарозы и измерение длины корней. Кроме того, мы вырастили семена в растворе сахарозы и измерили длину корней и колеоптиле. Всхожесть семян оценивалась с использованием методики Н. Н. Кожушко (1972). Наши исследования проводились в центральном опытном хозяйстве Научно-исследовательского института богарного земледелия, где в качестве стандарта использовался сорт Лейкурум 3. При выращивании семян в растворе сахарозы, семенное зерно развивалось в термостате при температуре 21-220°C, после чего охлаждалось на фильтровальной бумаге в чашке Петри. В каждую чашку Петри помещали 100 семян в 10 мл 15% раствора сахарозы в 4 повторениях. Через 5 суток мы определяли всхожесть семян под осмотическим давлением в растворе и сравнивали с контрольным вариантом. Степень всхожести зависит от условий, в которых растение развивается.

В ходе нашего лабораторного исследования мы провели оценку засухоустойчивости линий твердой пшеницы (*Triticum durum*) на основе анализа всхожести зерна в растворе сахарозы, а также измеряли количество и длину корешков. Длина корней играет ключевую роль при оценке засухоустойчивости линий и образцов. В контрольной группе, длина корней колебалась от 4,5 см до 9,8 см, при этом некоторые из них, такие как линии №10, №15 и №14, демонстрировали особенно высокие значения. Однако в растворе

сахарозы, длина корней линий варьировала от 1,9 см до 6,5 см, что снижался на 0,4-5,7 см по сравнению с контрольными условиями. Интересно, что некоторые сорта и образцы проявили более высокую засухоустойчивость с разницей в длине корней между контролем и раствором сахарозы. Например, линия №28 уменьшила длину корней на 0,4 см, образец №15 - на 1,6 см, образец №3 - на 2,1 см, образец №9 - на 2,4 см, а сорт №10 уменьшил длину корней на 2,6 см.

На основе результатов изучения 96 линий генетической коллекции от Международного центра сельскохозяйственных исследований в засушливых зонах (ICARDA), мы выделили 19 новых перспективных линий твердой пшеницы. Эти линии обладают потенциалом для использования в разработке новых сортов, способных выживать и давать хорошие урожаи в условиях неблагоприятной окружающей среды, такой как засуха. Они становятся первоначальными источниками материала для дальнейших селекционных процессов и предоставляют нам возможность работать над созданием устойчивых сортов твердой пшеницы, что имеет огромное значение для сельского хозяйства в засушливых регионах Узбекистана.

Список литературы:

1. Tidiane SA, Chiari T, Legesse W, Seid-Ahmed K, Ortiz R, van Ginkel M, Bassi FM. 2019. Durum wheat (*Triticum durum* Desf.): origin, cultivation and potential expansion in Sub-Saharan Africa. *Agronomy* 9, 263.
2. Xynias I.N., Mylonas I., Korpetis E.G., Ninou E., Tsaballa A., Avdikos I.D., Mavromatis A.G. 2020. Durum wheat breeding in the Mediterranean region: current status and future prospects. *Agronomy* 10, 432.
3. Li Y-F, Wu Y, Hernandez-Espinosa N, Peña R.J. 2013. Heat and drought stress on durum wheat: responses of genotypes, yield, and quality parameters. *Journal of Cereal Science* 57, 398–404.
4. Kabbaj H., Sall A.T., Al-Abdallat A., Geleta M., Amri A., Filali-Maltouf A., Belkadi B., Ortiz R., Bassi F.M. 2017. Genetic diversity within a global panel of durum wheat (*Triticum durum*) landraces and modern germplasm reveals the history of alleles exchange. *Frontiers in Plant Science* 8, 1277.
5. Zittis G., Bruggeman A., Lelieveld J. 2021. Revisiting future extreme precipitation trends in the Mediterranean. *Weather and Climate Extremes* 34, 100380
6. Кожушко Н.Н. К методике определения жаростойкости мягкой яровой пшеницы на проростках // Бюллетень ВИР, 1972. №25. - С. 12-14

СЕЛЕКЦИЯ НА АДАПТИВНОСТЬ И КАЧЕСТВО ТВЕРДОЙ ПШЕНИЦЫ В САМАРСКОМ НИИСХ

Мальчиков П.Н.

*Самарский научно-исследовательский институт сельского хозяйства - филиал
Федерального государственного бюджетного учреждения науки Самарского
Федерального исследовательского центра Российской академии наук
E-mail: sagrs-mal@mail.ru*

Селекция яровой твердой пшеницы в Самарском НИИСХ непрерывно ведется в течение 110 лет (с 1913 года). За это время было создано 25 сортов имевших коммерческое значение. Весь период селекции можно разделить на 6 этапов в течение которых проходило совершенствование как создаваемых сортов, так и методов селекции. Первые селекционные сорта были получены отбором из местных сортов. С 1936 года все сорта были получены отбором из гибридных популяций. В XX веке наибольшее

коммерческое значение имели сорта – Леукурум 33 (1948г.), Безенчукская 105 (1965г.), Безенчукская 139 (1980г.), Безенчукская 182 (1993г.). В настоящее время (государственный реестр селекционных достижений 2023г.) к хозяйственному использованию рекомендовано 15 сортов яровой твердой пшеницы самарской селекции. По посевным площадям наибольшее распространение имеют – Безенчукская золотистая (230 тыс.га), Безенчукская 205 (80 тыс.га), Безенчукская нива (70 тыс.га), Марина (70 тыс.га), Безенчукская степная (50 тыс.га). Селекционный процесс последовательно совершенствовал адаптивные свойства сортов. Наряду со специфической адаптивностью, включающей варианты определяемые устойчивостью к засухе, высоким температурам, патогенам, полеганию, использованию факторов интенсификации, происходило совершенствование общей адаптивной способности, не являющейся суммой эффектов специфической адаптивности. В течение всего периода селекции можно довольно отчетливо идентифицировать моменты появления коадаптированных блоков генов адаптивности продукционных процессов и их эволюционное усложнение. Первая такая трансгрессия связана с получением сорта Леукурум 33. Этот же блок генов функционировал в сорте Безенчукская 105. Объединение этого генетического пула с харьковским (сорт Харьковская 46) повысило уровень адаптивности – сорта Безенчукская 139 и Безенчукская 182. Следующий этап совершенствования общей адаптивности (сорта Марина, Безенчукская нива, Безенчукская 210, Безенчукская золотистая, Безенчукская крепость, Триада, Таганрог, Безенчукская юбилейная, Алазар) связан с включением в селекционный процесс генетических систем твердой пшеницы из Нижнего Поволжья (Саратов, НИИСХ Юго-Востока), сортов из СИММУТ, привлечением исходного материала других видов пшеницы (*T.aestivum*, *T.dicoccum*, *T.timopheevii*). Также в процессе селекции удалось повысить специфическую адаптивность. Устойчивость к засухе и высоким температурам наиболее ярко выражена у сортов, полученных с привлечением для гибридизации других видов пшеницы – Безенчукская золотистая, Безенчукская 210, Безенчукская крепость, Таганрог, Безенчукская юбилейная, Безенчукский подарок, Алазар). Устойчивость к наиболее вредоносным на твердой пшенице в степных регионах патогенам, вызывающим листовые пятнистости (фузариоз, перинофороз) получена на основе разнообразного исходного материала путем отбора на фоне эпифитотий этих болезней. Все современные коммерческие сорта, созданные в Самарском НИИСХ в достаточной степени устойчивы к этим патогенам. На основе генетической изменчивости *T.durum*, *T.dicoccum*, *T.timopheevii*, созданы сорта с высокой устойчивостью к мучнистой росе (Безенчукская 205, Безенчукская нива, Безенчукская крепость, Таганрог, Триада, Безенчукский подарок) которая в годы эпифитотий снижает урожайность и качество зерна. Целенаправленная (с использованием генов редукции высоты растений) селекция привела к получению адаптированных к условиям Поволжья сортов с укороченной соломиной - Триада (ген *RhtB1b*), Безенчукская 210, Безенчукская золотистая, Безенчукский подарок (ген *Rht Ahn = Rht18?*). Большинство сортов твердой пшеницы самарской селекции отличается хорошим качеством клейковины при возделывании в разных экологических зонах (SDS составляет 35-50мл), что объясняется наличием у них маркерного аллеля *GliB1d^c*, тесно сцепленного с низкомолекулярным глютеином второго типа (LMV-2) функционально обеспечивающим высокое качество клейковины. Кроме того, в большинстве сортов обнаружен аллель высокомолекулярного глютеина (HMW-GS) *Glu-B1(7+8)*, также положительно влияющий на качество клейковины. Получены сорта с высоким содержанием желтых пигментов в зерне, крупке и макаронах – Безенчукская золотистая – по оценкам в условиях Среднего Поволжья имеет самый высокий уровень накопления пигментов среди отечественных и зарубежных сортов, незначительно этому сорту уступают -Безенчукская крепость, Безенчукская 210, Таганрог, Алазар.

Таким образом в результате многолетней селекции в Самарском НИИСХ сформировался оригинальный коадаптированный блок генов, обеспечивающий широкую

приспособленность сортов к условиям степных регионов. В настоящее время получены сорта разных морфологических биотипов, отличающиеся устойчивостью к стрессовым факторам среды и хорошим качеством зерна и макарон.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ АЛЛЕЛЕЙ ГЛИАДИНКОДИРУЮЩИХ ЛОКУСОВ, КАК ГЕНЕТИЧЕСКИХ МАРКЕРОВ В СЕЛЕКЦИИ И СЕМЕНОВОДСТВЕ ТВЁРДОЙ ПШЕНИЦЫ В ФГБНУ «НЦЗ ИМ П.П. ЛУКЪЯНЕНКО»

Мельникова Е.Е., Букреева Г.И., Мудрова А.А., Яновский А.С., Домченко М.И., Воропаева А.Д.

*ФГБНУ «Национальный центр зерна имени П.П. Лукьяненко» (ФГБНУ НЦЗ им. П.П.Лукьяненко), Краснодар 350012
E-mail: mellen19@yandex.ru*

Эффективное использование аллелей глиадинкодирующих локусов (ГКЛ) в качестве молекулярных маркеров обусловлено их множественным аллелизмом, кодомнантным наследованием и независимостью от условий выращивания. В ФГБНУ «НЦЗ им. П.П. Лукьяненко» на протяжении трёх десятилетий проводится электрофоретический анализ зерна пшеницы методом электрофореза с использованием двух гелевых носителей: крахмального геля и полиакриламидного геля. Электрофоретический анализ запасного белка пшеницы (глиадин) в трубках, в крахмальном геле (КГ), применяется, как экспресс-метод, позволяющий на второй день определить сортовую принадлежность и чистоту семян, тогда как электрофоретический анализ на пластинах, в полиакриламидном геле (ПААГ), даёт возможность получить результат на день позже, но полиморфизм аллелей ГКЛ, выявленный у генотипов твёрдой пшеницы по ПААГ-каталогу выше, чем по КГ-каталогу. Для анализа электрофореграмм и записи формулы глиадин используется ПААГ-каталог Кудрявцева А.М. и КГ-каталоги Копуся М.М. и Панина В.М.

Копусем М.М. составлен каталог для анализа твёрдой пшеницы с использованием некоторых аллелей ГКЛ, выявленных при анализе мягкой пшеницы. Так аллели Gld 1A2, Gld 1A8, Gld 1B2, Gld 1B1 идентифицируются одинаково на электрофореграммах мягкой и твёрдой пшеницы при электрофорезе в КГ. Определение аллелей ГКЛ мягкой пшеницы в генотипах твёрдой пшеницы, позволяет проследить наследование аллелей при межвидовых скрещиваниях. В сорте озимой твёрдой пшеницы Кордон в одном из биотипов идентифицирован аллель Gld 1B2 (Gli B1^d), который унаследован от сорта озимой мягкой пшеницы Краснодарская 39. Аллели Gld1A2 и Gld1B2 по КГ-каталогу (Gli A1^dg и Gli B1^d по ПААГ-каталогу) выявлены в сортах озимой твёрдой пшеницы Крупинка, Защита, Белка и т.д., аллель Gld1B1 (Gli B1^d astb)- в сортах Золотко, Одари (в одном из биотипов). Данный аллель идентифицирован во многих сортах озимой мягкой пшеницы, среди которых сорт Безостая 1, однако, в сортах и линиях яровой твёрдой пшеницы аллель Gld 1B1 (Gli B1^d astb)- отсутствует. Аллели Gld 1A2 (Gli A1^dg) и Gld1B5 (Gli B1^dc) имеют высокую частоту встречаемости в сортах и линиях яровой твёрдой пшеницы (Николаша, Ясенка, Ярина и т.д.). Необходимо отметить, что в аллель Gli B1^dc входит компонент γ -45, связанный с высокими макаронными качествами. Также компонент γ -45 присутствует в аллеле Gli B1^db, который идентифицирован в сорте озимой твёрдой пшеницы Ласка и в одном из биотипов сорта яровой твёрдой пшеницы Ядрица. Макароны из сорта Ядрица отличались высокой прочностью (940 г) и самой низкой разваримостью (3,5) по сравнению с макаронами других анализируемых сортов и линий в 2023 году.

Компонент γ -47 является одним из компонентов аллеля Gli B1^d по ПААГ-каталогу, который соответствует аллелю Gld1B2, идентифицированному по КГ-каталогу как в сортах твёрдой пшеницы (Крупинка, Кордон, Защита и т.д.), так и в сортах мягкой пшеницы (Гром, Собербаш и т.д.). По нашим данным генотипы мягкой пшеницы с аллелем Gld1B2 обладают более крепкой клейковиной, по сравнению с другими генотипами. Такую же тенденцию мы отмечаем и при анализе генотипов озимой твёрдой пшеницы с наличием данного аллеля. При содержании клейковины 26,6-29,5% ИДК изменялось от 50 до 68 е.п.

Ежегодный анализ аллельного состава ГКЛ сортов и линий твёрдой пшеницы позволяет определить закономерности возникновения и поддержания ассоциаций генов в ходе селекционного процесса, выявить новые аллели и аллели, связанные с высоким качеством зерна, а также контролировать сортовую принадлежность и чистоту семян.

ОПЫТ ГЕНОМНОГО РЕДАКТИРОВАНИЯ ТВЕРДОЙ ПШЕНИЦЫ

Мирошниченко Д.Н.^{1,2}, Тимербаев В.Р.^{1,2}, Дивашук М.Г.¹, Пушин А.С.²,
Шульга О.А.¹, Самарина М.¹, Ермолаев А.¹, Крупин П.Ю.,
Карлов Г.И.¹, Долгов С.В.^{1,2}

1 – Курчатовский геномный центр - ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт сельскохозяйственной биотехнологии» (КГЦ - ФГБНУ ВНИИСБ), Москва 127550;

*2 – Филиал ГНЦ ФГБНУ «Институт биоорганической химии им. М.М. Шемякина и Ю.А. Овчинникова Российской академии наук» (ФГБНУ ФИБХ РАН), Пущино 142290;
E-mail: miroshnichenko@bibch.ru*

Среди разновидностей твердой пшеницы, полба (*Triticum dicoccum*) занимает особое место как ценнейшая крупяная культура, потребность в которой растет в России с каждым годом. Приоритетный интерес наших исследований - применение современных биотехнологических методов, а именно геномного редактирования, для повышения качества зерна пшеницы. При помощи системы CRISPR/Cas9 редактирования геномов, впервые в мире нами получены единичные и множественные целевые мутации в последовательностях генов участвующих в формировании крахмала зерна злаков, а именно *GBSSI* (гранулированная синтаза крахмала), *SBEIIa* (фермент ветвления крахмала), *SSIIa* (синтаза крахмала), *ISAI* (фермент разветвления крахмала изоамилазы) и *RSR1* (регулятор синтеза крахмала 1). С помощью системы модульного клонирования нами созданы полицистронные конструкции, несущие различные сочетания гидовых РНК под контролем промоторов пшеницы, направленные на изменение целевых участков четырех или двух генов биосинтеза крахмала. После баллистической доставки полицистронных векторов в морфогенные ткани полбы, успешно регенерировали полноценные растения, в которых редактирование целевых генов подтверждено генотипированием с помощью методов NGS (Next-Generation Sequencing) и HRFA (High-Resolution Fragment Analysis). В зависимости от используемого набора гидовых РНК в составе экспрессионных конструкций, эффективность редактирования субгеномных (AA и BB) гомологов целевых генов полбы варьировала в наших исследованиях от 25 до 35%. Используя трио гидовых РНК для каждого целевого гена, мы успешно получили ряд новых мутаций, не описанных у сортов твердой пшеницы ранее. Растения полбы, несущие новые мутации, являются перспективными донорами для селекционного пирамидирования нокаутных генов участвующих в биосинтезе крахмала, с целью создания сортов твердой пшеницы, обладающих коммерческим потенциалом.

**INTEGRATE DURUM WHEAT BREEDING APPROACH:
SPRING AND WINTER CASE STUDY**

**V. Natoli^{1,4}, L. Beshpalova², A. Mudrova², A. Yanovsky², P. Malchikov^{1,3}, S. Shevchenko³,
M. Miasnikova³, S. Dolaberidze¹, P. De Vita⁵, S. Esposito⁵**

1 – Agroliga Plant Selection Center Ltd

E-mail: agroliga.psc@mail.ru

2 – P. P. Lukyanenko National Grain Centre

3 – N.M. Tulaykov Samara Research Institute of Agriculture.

4 – Genetic Services Ltd

5 – The CREA – Cereal and Industrial Crop Research Centre

Durum wheat (*Triticum turgidum* L. ssp. durum) is an allotetraploid species with $2n=4x=28$ (AABB genomes) and is used predominantly for food products such as pasta, couscous, and bulgur.

Approximately 30 million tons of durum wheat is produced every year in different regions of the world on an estimated cultivation area of about 16 million hectares (<http://www.fas.usda.gov/pecad/highlights/2005/07/durum2005>). Since durum wheat is mainly used for pasta, the varieties that meet the requirements of high-quality pasta products fetch premium prices on the global market.

In Russia, durum wheat is produced mainly in the middle Volga and South Ural regions in a volume of 650,000 – 700,000 tons on an area of more than 0.5 million hectares. In recent years, the demand on the Russian market for high-quality pasta is estimated at 750,000 – 800,000 tons, which is equivalent to 1.5 million tons of durum wheat (Lozhkin et al., 2018). This new scenario could require an expansion of the current cultivated area by improving the qualitative characteristics of Russian production. Over the past six years an average of 62% of Russian durum wheat production fell into the poorest grain quality classes (#4 and #5), while there was practically no grain production falling into the high-quality wheat classes (#1 and #2). Since at the present time the total storage capacity of the processing industries is located in the European part of the Russian Federation where there is a big potential for expansion of durum wheat cultivation, the only factor that might limit the growth of exports would be the lack of high-quality and adapted crop varieties

The processing and end-quality of durum wheat is determined by the genotype (G), the cultivation environment (E), agronomic management (M) and their interaction GxExM (Mattsuo et al 1982a, Mariani et al 1995, Marchylo et al 2001). To ensure adequate processing potential, durum wheat processors require suppliers to satisfy a list of grain characteristics with high-quality standards (i.e. vitreousness, ash content, moisture content, protein content, gluten strength, semolina colour). Because some qualitative parameters (i.e. gluten strength, semolina colour, etc.) are genotype-dependent, milling and pasta factories request suppliers to deliver only specific durum wheat varieties. Among grain quality parameters, gluten strength and tenacity, which are determined by glutenin (High Molecular Weight and Low Molecular Weight) and gliadin composition, are two of the main factors that guarantee pasta firmness, small starch losses during cooking, and increased tolerance to overcooking (Sissons et al. 2005; Payne, 1987; Pogna et al., 1990).

In this context, one possibility for the increase in durum wheat production in the Volga, South Ural and other regions could be the development of new durum wheat varieties

characterized by a wide adaptability and good grain quality, exploiting Russian germplasm and introducing new genetic materials with strong gluten and excellent technological performance.

About Volga region our approach was to transfer a mayor QTL (Quantitative trait locus) and HMW sub-unit (6+8) conformation from Kofa (a Desert Durum® variety) into Russian adapted spring genotypes.

Kofa is a Southwestern United States cv. released by Western Plant Breeders (Arizona) with excellent quality parameters in terms of protein content, gluten index (GI), and the SDS micro-sedimentation (SDSS) test. Protein analyses of the HMW glutenin sub-units (GS) revealed the presence of Glu-B1d allele (6+8 sub-units) in Kofa varieties (Bubcvsky et al. 2008) on chromosome 1B identified by SSR (simple sequence repeat) markers.

The aim of this work was to improve the technological performances (i.e. gluten index, GI) of Russian durum wheat varieties for pasta manufacture. With this objective, a series of advanced breeding lines obtained by crossing high-gluten quality (HGQ) durum wheat varieties (Kofa) and Russian germplasm, were evaluated using biochemical and molecular markers.

About Krasnodar region we have apply different approach. Using the *25K Infinium iSelect SNP arrays*, the first step was to screen the variability into a pool of 252 variety and breeding line (172 from European origin and 80 from Russia origin) and evaluation the population structure. Using **GWAS** (Genome wide association mapping) analysis, the second step was to identify mayor Qtls for freezing resistance and transfer it in the best European genotype whit best quality of gluten and other quality trait as protein percentage and semolina yellow index.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОСОБЕННОСТИ ВЫРАЩИВАНИЯ ОЗИМОЙ ТВЕРДОЙ ПШЕНИЦЫ В КАМЕРАХ ИСКУССТВЕННОГО КЛИМАТА ПРИ УСКОРЕНИИ СЕЛЕКЦИОННОГО ПРОЦЕССА

Нормов В.А., Яновский А.С., Мудрова А.А.

**ФГБНУ «Национальный центр зерна имени П. П. Лукьяненко», Краснодар, 350012
E-mail: normovva@mail.ru**

Селекция растений — это непрерывный процесс улучшения сортов сельскохозяйственных культур для удовлетворения потребностей рынка и требований меняющейся окружающей среды. Растущее население вызывает серьезную обеспокоенность по поводу глобальной продовольственной безопасности, поскольку нынешние темпы улучшения некоторых важных сельскохозяйственных культур недостаточны для удовлетворения будущего спроса. Столь медленные темпы улучшения сельскохозяйственных культур отчасти объясняются длительным вегетационным периодом ключевых видов сельскохозяйственных культур, таких как пшеница, рис, ячмень, нут, горох и др.

Скоростная селекция (Speed breeding) — это инновационный метод, в котором используется контролируемая среда и оптимизированные условия для ускорения роста и развития растений, тем самым сокращая циклы размножения и повышая эффективность селекционного процесса. Принципы и методологии, лежащие в основе методов скоростной селекции, включают манипулирование факторами окружающей среды, такими как интенсивность света, влажность воздуха, температура и фотопериод, которые способствуют быстрому росту растений и раннему цветению. Такой подход позволяет выращивать несколько поколений сельскохозяйственных культур в течение одного года, что значительно сокращает время, необходимое для выведения сорта.

Впервые в мире эту технологию на пшенице применили австралийские исследователи из университета Квинсленда в 2003 году (1). Хотя этот метод прост и легко

реализуем, он требует дорогостоящих помещений для выращивания растений, что делает его недоступным для многих селекционных и научно-исследовательских учреждений Российской Федерации.

В ФГБНУ «НЦЗ им. П.П. Лукьяненко» работа по ускорению селекционного процесса методом Speed breeding была начата в 2017 году, на озимой твердой пшеницы. Созданная климатическая камера центра отвечала всем требованиям, предъявляемым для данного метода. Тестирование методики было начато на двух сортах твердой пшеницы: слабо морозостойком сорте Odiseo итальянской селекции и отечественной озимой твердой пшеницы с высоким уровнем морозостойкости «Золотко». Имеющиеся протоколы Speed breeding позволяющие получать до 6 урожаев в год разработаны для яровой пшеницы в следствии чего в нашем эксперименте были выявлены недостатки данного метода в ускорении фенофаз развития озимой твердой пшеницы.

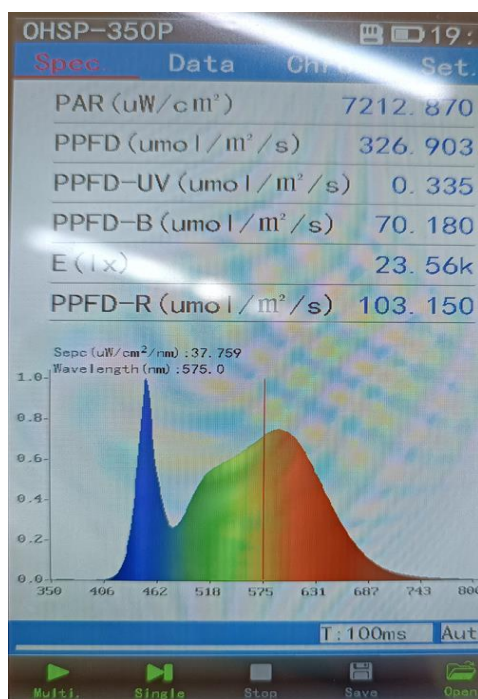


Рис. 1. Спектр светодиодного светильника M 23FS 450D3 MIX,

После проведенных в течении ряда лет экспериментов нами были получены и проанализированы данные, которые позволили определить оптимальные спектр (рис.1,) и интенсивность светодиодного освещения (23000 lx) длину фотопериода (от 16 до 22 часов), параметров температуры (от +5°C до +30°C), относительную влажность воздуха (от 65% до 85%), скорость потока воздуха (от 1 до 5 м/с) в зависимости от стадии вегетации культуры. Все это способствовало ускоренному прохождению фенологических фаз развития растений. Созданная нами методика позволяет получать три урожая в год (интервал от посева до сбора урожая 105 суток) высоко натурального с массой 1000 зерен (от 38 до 45 грамм) зерна озимой твердой пшеницы.

Список литературы:

1. Singh H., Janeja H.S. Speed breeding: a ray of hope for future generations in terms of food security. European Journal of Molecular and Clinical Medicine. 2021;8(2): 2653-2658

ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ, ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ И СЕЛЕКЦИОННЫЕ АСПЕКТЫ ПОЛУЧЕНИЯ КАЧЕСТВЕННОГО ЗЕРНА ЯРОВОЙ ТВЕРДОЙ ПШЕНИЦЫ НА АЛТАЕ

Розова М.А.

*ФГБНУ «Федеральный Алтайский научный центр агробиотехнологий
(ФГБНУ ФАНЦА); Барнаул 656910;
E-mail: mrosova@yandex.ru*

Зерно яровой твердой пшеницы является лучшим сырьем для получения качественных макаронных изделий, ряда круп и специфических продуктов. При изготовлении всех этих изделий к зерну предъявляются требования, состав которых определяется видом конечного продукта. На этапе закупа зерна для макаронных производств особое внимание уделяется натуре зерна, стекловидности, массе 1000 зерен, числу падения, содержанию белка и клейковины, качеству клейковины, цвету зерна, крупки, пораженности зерна болезнями, вредителями и некоторым другим. Система работает достаточно четко и поэтому выращивание твердой пшеницы направлено в равной мере на количество и качество урожая. Многочисленные исследования и эмпирические знания показывают, что параметры качества определяются экологическими, технологическими и генетическими факторами и их взаимодействием.

Твердая пшеница – культура теплолюбивая, а в плане формирования качества – она особенно требовательна в репродуктивный период ее развития. Не все регионы Западной Сибири обладают необходимыми условиями. Наиболее крупные производители – Алтайский край и Омская область. В среднем сумма положительных температур за период с температурами выше 10°C составляет более 2000⁰C. На Алтае за вегетацию сорта твердой пшеницы в зависимости от группы спелости набирают от 1460 до 1618⁰C. Продолжительность вегетации твердой пшеницы на 36% детерминируется суммой температур. На основании связи изменчивости урожайности, содержания белка и клейковины с изменчивостью суммы температур за период 2002-2020 гг. было установлено, что вклад факторов «годы» по урожайности составил 84,8%, по белку – 55,1%, по клейковине 39,8 %, а вклад генотипов, соответственно, 14,2%, 42,5 % и 54,7%.

В целом условия Алтайского края характеризуются достаточной теплообеспеченностью и сухостью для формирования качественного зерна. В отдельные годы край обеспечивал до 50% качественного зерна бывшего Советского Союза. Происходящие изменения климата, выраженные через соотношение средних подекадных величин суточных температур и количества осадков за период 2001-2020 гг. к данным 1951-2000 гг., позволяет сделать вывод, что идет повышение температур с мая по июнь. ГТК мая снизился с 1,33 до 0,95, а июня слабо повысился с 0,88 до 0,95, что опосредованно говорит о повышении роли влагосберегающих технологий. Более теплая погода мая служит и ранней активности насекомых-вредителей, поэтому следует вести мониторинг ситуации на поле. Существенные изменения произошли с погодными факторами июля (период цветения, формирования зерна и молочной спелости). Увеличение количества осадков при понижении температур, благоприятные для урожайности, могут сопровождаться ослаблением качества – содержания белка, клейковины, стекловидности, цветности, отразиться на всхожести семян. В августе (тестообразная – восковая спелость) ГТК снизился с 1,01 до 0,71, что может иметь негативный эффект на продуктивность поздних посевов и позднеспелых сортов. Таким образом, изменение климата ставит перед селекционерами задачи дальнейшего повышения засухоустойчивости, особенно в начале вегетации, и удержанию уровня и стабильности показателей качества.

В достижении цели повышения качества твердой пшеницы важно использовать резервы технологий выращивания. К таковым относятся: выбор предшественника, ранние сроки посева, защита от болезней, насекомых, сорной растительности, технологическая дисциплина выполнения операций, своевременная уборка, подработка и хранение зерна. Твердая пшеница требовательна к агрофону, что проистекает из ее биологических особенностей. Растения твердой пшеницы развиваются медленнее; листья в основном неопушенные, уязвимые для вредителей и частиц, переносимых с ветром; вынос питательных веществ на единицу урожая больше. Лучшими предшественниками для культуры являются чистый пар, озимые по пару, бобовые, оборот пласта многолетних трав. Высокая потребность твердой пшеницы в азоте – 4,5 кг/1 ц зерна (+20-22% по сравнению с мягкой), обусловлена формированием особой структуры эндосперма вследствие упаковки гранул крахмала в белковую сетку, не распадающуюся даже при варке [1]. Опыты по срокам посева 7 сортов показали, что при посеве в первой декаде мая в среднем за 2015, 2017 гг. не только урожайность была выше (на 31,3%), но и стекловидность (+10 абс.%), содержание белка (+1,9 абс.%), а показание ИДК было ниже на 6 единиц. Технологическая дисциплина выполнения агротехнических мероприятий способствует максимальной реализации потенциала продуктивности и качества зерна. Твердая пшеница более чувствительна к применению средств защиты растений, отклонения от регламентации приводят к ожогам растений, снижению продуктивности. Такие вредители как цикадки, блошки и др., не только наносят непосредственный вред твердой пшенице, но и, заражая растения вирусными заболеваниями сразу после всходов, приводят к их гибели. Деятельность клопа вредной черепашки, трипсов, хлебного пилильщика значительно снижают качество зерна, а деятельность цветочного клеща приводит к стерильности колоса. Из заболеваний зерна следует выделить «черный зародыш», вызываемый на Алтае в основном грибом *Bipolaris sorokiniana* [2]. Устойчивость сортов к черному зародышу достаточно эффективна в средние по интенсивности поражения годы, но не достаточная в годы эпифитотий.

Поскольку генетическая составляющая изменчивости стекловидности, натуры зерна, массы 1000 зерен, цвета крупки и макарон, качества и количества клейковины и др., значительна, то выбор сорта предопределяет качество зерна и конечной продукции. Как показал анализ сортов государственного реестра селекционных достижений, современные сорта превосходят старый сорт Харьковская 46 по продуктивности, но за редким исключением превосходят или равны ему по содержанию и стабильности белка и клейковины. По качеству клейковины современные сорта имеют преимущества [3]. Созданный Ассоциацией Производителей Макаронных Изделий Список ценных по качеству сортов на 2023 г. включал 18 сортов яровой твердой пшеницы из 67 внесенных в Реестр. В Алтайском крае на 2023 г. выращиваются следующие сорта – Памяти Янченко, Салют Алтая, Солнечная 573, Оазис, Шукшинка, АТП Прима (ФГБНУ ФАНЦА), Омский корунд, Жемчужина Сибири, Омский изумруд, Омский коралл (Омский АНЦ), Рустикано, Бурбон (ЦСР: Агролига), Ясенка (НЦЗ им. П.П.Лукияненко) и Триада. Из них 76,2% занимали сибирские сорта, из которых 50% - алтайские. Шесть возделываемых сортов включены в список ценных. Новые сорта Шукшинка (2022 г.) и АТП Прима (2023 г.), АТП Партнер, проходящий ГСИ, обладают хорошей комбинацией признаков продуктивности, содержания белка и клейковины, качества клейковины и цвета крупки. Скрининг селекционного материала, начиная с селекционного питомника первого года, включает отбор по SDS-седиментации, цвету зерна и шрота, с последующим расширением изучаемых показателей качества. В настоящее время выделены перспективные линии с высоким уровнем индекса глютена и показателя SDS-седиментации, отличным и хорошим цветом макарон, содержанием белка и клейковины, удовлетворяющим макаронную промышленность и относительной устойчивостью к черному зародышу.

Список литературы:

1. Гамзиков Г.П., Вязников В.В., Шотт П.Р. Применение минеральных удобрений под твердую пшеницу на черноземах Западной Сибири// Современные проблемы сельского хозяйства и пути их решения: Юбилейный сб. науч.тр., Барнаул, 2000. С.82-87.
2. Хлебова Л.П., Антонова И.А., Барышева Н.В. Патогенный комплекс грибных микроорганизмов семян твердой пшеницы в условиях Приобской лесостепи Алтайского края// Коняевские чтения: Сб.науч.тр. VI Международной научно-практической конференции. 2018.С.317-319
3. Розова М. А., Егиазарян Е. Е., Зиборов А.И. Результаты изучения допущенных к использованию в России сортов яровой твердой пшеницы по урожайности и качеству зерна в условиях Алтайского края // Достижения науки и техники АПК. 2020. Т. 34. № 7. С. 39-44. doi: 10.24411/0235-2451-2020-10700.

КАРОТИНОИДЫ, КАК ПОКАЗАТЕЛИ КАЧЕСТВА ЗЕРНА ЯРОВОЙ ТВЕРДОЙ ПШЕНИЦЫ (TRITICUM DURUM) САРАТОВСКОЙ СЕЛЕКЦИИ: ДОСТИЖЕНИЯ И ПЕРСПЕКТИВЫ

Цетва И.С., Гапонов С.Н., Шутарева Г.И., Цетва Н.М., Милованов И.В., Жиганова Е.С., Соловова Н.С., Бурмистров Н.А.

*ФГБНУ «Федеральный аграрный научный центр Юго-Востока»
(ФГБНУ ФАНЦ Юго-Востока), Саратов
E-mail: tse2van@yandex.ru*

Концентрация желтых пигментов в зерне твердой пшеницы играет важную роль при оценке качества семолины и определении коммерческого и пищевого достоинства конечных продуктов.

Каротиноиды - это группа веществ, окрашенных в желтый или оранжевый цвет. Они являются неотъемлемой частью пигментных систем всех фотосинтезирующих организмов и выполняют четыре основные функции: антенную (светособирающую), антиоксидантную, фотопротекторную и структурную. Каротиноиды, в зависимости от наличия кислорода, делятся на два класса: каротины (α -, β - и γ) и ксантофиллы (пигменты, содержащие кислород). Большое значение имеют ксантофиллы, такие как лютеин, виолаксантин и неоксантин, различающиеся наличием гидроксильных и эпоксидных групп [5, 6].

В зрелом зерне пшеницы желтые пигменты хранятся в пропластидах, амилопластах и элайопластах. Внутри пластоглобул пигменты более устойчивы к окислению, участвуют в защите триглицеридов и ненасыщенных липидов от действия свободных радикалов. Они также участвуют в синтезе абсцизовой кислоты, которая играет важную роль в регулировании процессов созревания и покоя семян.

До момента выделения селекции яровой твердой пшеницы в Саратове в отдельную структурную единицу (1984г.) были созданы 6 сортов, имевших большое производственное значение, засухоустойчивых, широко адаптированных. За последние 39 лет – получены порядка 15. Внимание селекционеров, наряду с продуктивностью, устойчивостью к биотическим и абиотическим стрессорам, было обращено на показатели качества зерна, а именно прочность, эластичность клейковины и цвет конечной продукции.

Кроме основного химического метода определения концентрации каротиноидных пигментов в зерне пшеницы, широко применяются косвенные методы оценки степени желтизны семолины и муки. Один из таких методов – определение индекса желтизны на приборе Spacol 10, по методологии Н.С. Васильчука. Селекционеры обнаружили линию D-1980, в последствии названную сортом Саратовская золотистая, которая имела наибольшие различия в отражении семолины между светло-желтым образцом D-1947 и насыщенно-

желтым D-1980 [1, 2]. Была установлена связь между визуальной оценкой цвета макарон и индексом желтизны крупки, определенным на спектрофотометре приборе Specol 10, коэффициент корреляции составил $r = 0,82^{**}$. Установлена тесная зависимость между индексами желтизны семолины, муки и содержанием каротиноидных пигментов в зерне. Создание сорта Саратовская золотистая и его выбор в качестве объекта исследований позволил усовершенствовать метод количественной оценки степени желтизны семолины. Также Саратовская золотистая широко применяется в дальнейшей селекции в качестве уникального донора благодаря ее ценным признакам, таким как высокое содержание каротиноидов в сочетании с качеством клейковины [2].

В селекционных центрах России созданы более 15 сортов, в которых участвовала Саратовская золотистая, что подтверждает ее ценность в качестве отличного донора [2, 4].

Современные сорта, такие как Памяти Васильчука и Тамара, уже превышают Саратовскую золотистую по содержанию каротиноидов на 4 и 8% соответственно. В конкурсном сортоиспытании также представлены перспективные линии D-2170 (ГАЛА), D-2177 со средним содержанием пигментов 7,28 и 7,64 мг/кг соответственно (2017-2023гг.) [3].

В качестве источника каротиноидных пигментов и для расширения генетического разнообразия от испанского исследователя Antonio Martin был получен зарегистрированный образец Tritordeum HT621. Tritordeum - амфиплоид, происходящий от обратного скрещивания дикого ячменя *Hordeum chilense* с твердой пшеницей. Он представляет собой "мост" между желательными генетическими признаками своих родительских линий, таких как хорошая устойчивость к абиотическому стрессу и болезням, а также более высокое содержание белка и каротиноидов. Благодаря высоким уровням каротиноидов и арабиноксиланов, тритордеум обладает большей общей антиоксидантной активностью. Каротинообразующие гены из *H. chilense* вносят решающий вклад в содержание каротиноидов за счет усиленной работы ферментов PSY – фитоенсинтетазы и LCYE – ликопин-ε-циклазы. Кроме того, значительная часть каротиноидов в тритордеуме представлена в виде более стабильных эфиров жирных кислот, чем лютеин в свободной форме [7].

Интеграция научных баз различных лабораторий и специалистов ФГБНУ ФАНЦ Юго-Востока позволила отследить наличие генов Tritordeum в гибридах твердой пшеницы, полученных в результате скрещиваний. Это представляет особую ценность, поскольку поиск маркеров высокого содержания каротиноидных пигментов в наших сортах не дал результатов при использовании праймеров, рекомендованных по зарубежным исследованиям в доступной научной литературе.

Список литературы:

1. Васильчук Н. С., Гапонов С. Н., Еременко Л. В., Паршикова Т. М., Попова В. М., Шутарева Г. И., Куликова В. А. Селекция твердой яровой пшеницы на высокое содержание каротиноидов в зерне // Сборник научных трудов ГНУ НИИСХ Юго-Востока Россельхозакадемии. Саратов, 2009. С. 89–100.
2. Гапонов С. Н., Попова В. М., Шутарева Г. М., Цетва Н. М., Паршикова Т. М., Щукин С. А. 25 лет сорту Саратовская золотистая. *Зерновое хозяйство России*. 2018;(5):57-60.
3. Гапонов С. Н., Шутарева Г. И., Цетва Н. М., Цетва И. С., Милованов И. В., Бурмистров Н. А., Жиганова Е. С., Куликова В. А. Новый сорт яровой твердой пшеницы Тамара – источник каротиноидных пигментов. *Зерновое хозяйство России*. 2022;(3):51-56.
4. 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):37-40.
5. Мальчиков П. Н., Мясникова М. Г. Содержание желтых пигментов в зерне твердой пшеницы (*Triticum durum* Desf.): биосинтез, генетический контроль, маркерная селекция. Вавиловский журнал генетики и селекции. 2020;24(5):501-511. DOI 10.18699/VJ20.642

6. Смоликова Г. Н., Медведев С. С. Каротиноиды семян: синтез, разнообразие и функции. ФИЗИОЛОГИЯ РАСТЕНИЙ. 2015; в. 62, 1, 3-16. DOI 10.7868/S0015330315010133
7. Mattera M.G., Hornero-Méndez D., Atienza S.G., Carotenoid content in tritordeum is not primarily associated with esterification during grain development, Food Chemistry, Volume 310, 2020, 125847, ISSN 0308-8146

ОСНОВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ И РЕЗУЛЬТАТЫ СЕЛЕКЦИИ ОЗИМОЙ ТВЕРДОЙ ПШЕНИЦЫ *TRITICUM DURUM DESF* В ФГБНУ «НЦЗ ИМ. П. П. ЛУКЬЯНЕНКО»

Яновский А.С., Мудрова А.А., Воропаева А.Д.

ФГБНУ «Национальный центр зерна имени П. П. Лукьяненко», Краснодар, 350012
E-mail: Yanovskij81list.ru

В настоящее время на твердую пшеницу приходится около 8% от общего производства пшеницы в мире, при этом основные регионы выращивания сосредоточены в нескольких благоприятных районах, таких как Средиземноморский бассейн, Великие равнины Северной Америки, Россия и Казахстан.

По сравнению с мягкой пшеницей (*Triticum aestivum* L.), крупнейшим культивируемым видом пшеницы, твердая пшеница (*Triticum durum* D.), характеризуется стекловидным зерном с более высоким содержанием белка и клейковины. Обладая низким гликемическим индексом, продукты, произведенные из твердой пшеницы, относятся к диетическим и высоко ценятся во всем мире (1).

Особая ценность твердой пшеницы заключается в том, что она является единственным сырьем для изготовления высококачественных макаронных изделий, характеризующихся высокой прочностью, низкой разваримостью, приятным вкусом. Биологическая ценность зерна твердой пшеницы не может быть заменена или компенсирована ценностью мягкой пшеницы. (2).

До начала селекционных работ с этой культурой вид *Triticum durum* Desf. был представлен в основном яровыми и слабозимостойкими полуозимыми формами. Культивировались они лишь в областях с теплыми зимами, где хорошо зимуют как озимые, так и яровые формы. Урожайность сортов яровой твердой пшеницы значительно уступала озимой мягкой пшенице. В связи с этим во многих селекционных учреждениях были начаты работы по созданию твердой пшеницы озимого типа развития и введение ее в сельскохозяйственное производство в районы, где озимая мягкая пшеница дает высокие и стабильные урожаи.

Озимая твердая пшеница — это относительно молодая культура, созданная в середине прошлого века методом межвидовой гибридизации озимой мягкой пшеницы и яровой твердой. В ФГБНУ «НЦЗ им. П.П. Лукьяненко» селекционная работа по созданию озимой твердой пшеницы была начата в 1931 году академиком П.П. Лукьяненко. Основными направлениями в селекции озимой твердой пшеницы являются: продуктивность, устойчивость к абиотическим (зимостойкость, морозостойкость, засухоустойчивость, жаростойкость), биотическим (устойчивость к основным патогенам *Fusarium graminearum* Schwabe, *Puccinia striiformis*, *Puccinia recondita*, *Septoria tritici*) стрессам, качество зерна и макарон (протеин, клейковина, стекловидность, индекс цвета YI и индекс клейковины GI, прочность, разваримость макарон).

Селекционная работа по созданию сортов озимой твердой пшеницы в ФГБНУ «НЦЗ им. П. П. Лукьяненко» ведется по 41 признаку. В полевых условиях оцениваются 18 признаков (подмерзание, отрастание, основные фенологические фазы поражение

болезнями и др.) и 23 - в лабораторных (технологические и биохимические анализы зерна и макарон).

На сегодняшний день в Государственный реестр РФ включены 33 сорта озимой твердой пшеницы, из которых 10 — это сорта селекции ФГБНУ «НЦЗ им. П.П. Лукьяненко». Проходят Государственное сортоиспытание сорта Цель, Бэлла, Белка, Защита, передан на Государственное сортоиспытание сорт Дара.

Сорта озимой твердой пшеницы, созданные за последнее десятилетие, (Одари, Круча, Синьора, Цель, Бэлла) обладают уровнем урожайности более 9 тонн с 1 га в конкурсном сортоиспытании НЦЗ им. П.П. Лукьяненко и более 6 тонн с 1 га в производственных условиях, достигнув уровня озимой мягкой пшеницы. При таком уровне продуктивности все сорта обладают высокими показателями качества зерна и макарон, соответствующими мировым стандартам качества (содержание протеина >14,0%, клейковины >28,0%, индекса глютена GI >75 % и индекса цвета YI >22).

Зиоморозостойкость для озимой твердой пшеницы являлся лимитирующим признаком, ограничивающим ареал распространения культуры. Благодаря целенаправленной работе по выявлению генотипов на ранних стадиях селекционного процесса (F₄-F₅), нам удалось создать сорта с повышенной морозостойкостью, которые толерантны к температурам на уровне узла кущения -15⁰С -17⁰С (Синьора, Бэлла, Цель). Благодаря чему сорт Синьора впервые допущен к использованию сразу по трем регионам (5 Центрально-Черноземному, 6 Северо-Кавказскому и 8 Нижневолжскому).

Все сорта VI этапа селекции обладают достаточно высокой степенью устойчивости к основным видам болезней. Особое значение в селекции озимой твердой пшеницы уделяется такому важному патогену как фузариоз колоса *Fusarium graminearum Schwabe*. Для выявления устойчивых генотипов ежегодно, начиная со второй декады мая до первой декады июня в вечернее время, проводится до 7 инокуляций *Fusarium graminearum Schwabe* на вегетирующих растениях. На сегодняшний день созданы ряд перспективных линий, толерантных к данному патогену и сорт Синьора, обладающий средней устойчивости к *Fusarium graminearum Schwabe*.

Увеличение доли сортов озимой твердой пшеницы в общем объеме производства зерна твердой пшеницы в Российской Федерации является одной из стратегических задач будущего. Дальнейшее развитие селекционной программы по созданию сортов озимой твердой пшеницы в «НЦЗ им. П.П. Лукьяненко» успешно решается.

Список литературы:

1. Мудрова А.А. Селекция озимой твердой пшеницы на Кубани / КНИИСХ.-Краснодар, 2004.-190 с.
2. Мудрова А.А., Яновский А.С., Беспалова Л.А., Боровик А.Н. Результаты селекции высококачественных сортов яровой твердой пшеницы // Сборник материалов IV международной научной конференции. Симферополь. 2019. С. 178-179. DOI: 10.33952/09.09.2019.85