

Селекция мягкой пшеницы на продукты функционального питания

Зульфья Ерназаровна Фитилева, Сергей Николаевич Сибикеев

ФГБНУ «ФАНЦ Юго-Востока», г. Саратов, Россия

e-mail: Zulya0305@yandex.ru

Аннотация. В мире быстрого экономического роста продовольственная безопасность с точки зрения профиля питания стала вызывать все больший интерес. Разработка биофортифицированной окрашенной пшеницы (черной, фиолетовой и голубой) добавляет питательные и функциональные преимущества богатой энергией пшенице. Сорты и линии окрашенной мягкой пшеницы с высоким содержанием антоцианов, железа и цинка проявляют антиоксидантную и противовоспалительную активность и обладают желательными свойствами для производства и коммерческого использования. Антоцианы, содержащиеся в окрашенной пшенице, имеют широкий спектр последствий для здоровья, таких как защита от метаболических синдромов, ожирение, диабет, гипертония и дислипидемия. Идея создания обогащенной антоцианами пшеницы формирует образ жизни людей, поскольку она является основной продовольственной культурой во многих странах мира. Достижения селекции новых высококачественных продуктивных сортов зерновых культур с большим количеством антиоксидантов позволяют применять их для получения ряда продуктов для функционального питания. Представленный обзор представляет собой компиляцию доступной в настоящее время информации об окрашенной пшенице в важнейших аспектах, включая биохимию, пищевую промышленность, питание, генетику, селекцию и ее влияние на здоровье человека. Формирование рынка и повышение осведомленности потребителей являются жизненно важными задачами для ее использования в качестве функционального продукта питания в больших масштабах.

Ключевые слова: пшеница; фиолетовое зерно; антоцианы; антиоксидантная активность; биофлавоноиды; функциональные продукты питания.

Для цитирования: Фитилева З. Е., Сибикеев С. Н. Селекция мягкой пшеницы на продукты функционального питания // Аграрный научный журнал. 2023. № 7. С. 48–55. [http: 10.28983/asj.y2023i7pp48-55](http://10.28983/asj.y2023i7pp48-55).

AGRONOMY

Original article

Bread wheat breeding for functional nutrition products

Zulfiya E. Fitileva, Sergei N. Sibikeev

Federal State Budgetary Scientific Organization «Federal Center of Agriculture Research of the South-East Region», Saratov, Russia

e-mail: Zulya0305@yandex.ru

Abstract. In a world of rapid economic growth, food security from the point of view of the nutrition profile has become of increasing interest. The development of biofortified colored wheat (black, purple and blue) adds nutritional and functional health benefits to energy-rich wheat. Cultivars and lines of colored bread wheat with a high content of anthocyanins, iron and zinc exhibit antioxidant and anti-inflammatory activity and have desirable properties for production and commercial use. Anthocyanins contained in colored wheat have a wide range of health effects, such as protection from metabolic syndromes, obesity, diabetes, hypertension and dyslipidemia. The idea of production anthocyanin-enriched wheat shapes people's way of life, as it is the main food crop in many countries. The achievements of breeding new high-quality productive varieties of cereals, with a large amount of antioxidants, allow them to be used to obtain a number of products for functional nutrition. The presented review is a compilation of currently available information about colored wheat in the most important aspects, including biochemistry, food industry, nutrition, genetics, selection and its influence on human health. Market formation and consumer awareness raising are vital tasks for its use as a functional food product on a large scale.

Keywords: wheat; purple grain; anthocyanins; antioxidant activity; bioflavonoids; functional foods.

For citation: Fitileva Z. E., Sibikeev S. N. Bread wheat breeding for functional nutrition products. Agrarnyy nauchnyy zhurnal = The Agrarian Scientific Journal. 2023;(7):48–55. (In Russ.). [http: 10.28983/asj.y2023i7pp48-55](http://10.28983/asj.y2023i7pp48-55).





Понятие функционального питания возникло в 80-х годах XX века в Японии. В дополнение к специфическим продуктам, рассчитанным для некоторых групп граждан (сухие смеси для беременных, кормящих женщин и младенцев, продукты для пожилых людей и продукты лечебного назначения), было законодательно закреплено понятие «продукты специального использования для оздоровления». В настоящее время эти продукты называются «функциональное питание», или «функциональные продукты питания». Основная идея функционального питания – общее укрепление здоровья граждан и альтернатива медикаментозному вмешательству. Функциональные продукты питания рассчитаны для регулярного употребления. Они сбалансированы по составу, богаты характерными компонентами, и их основная роль заключается в регулировании функций организма для поддержания его продуктивной жизни. Другими словами, в отличие от традиционной пищи, они являются не только источниками энергии, но и эффективными внутренними регуляторами метаболических процессов.

Производство функциональных продуктов означает замену или исключение некоторых элементов, которые могут оказать отрицательное влияние на здоровье. В то же время такую еду насыщают полезными компонентами динамичного специфического процесса, которые имеют в основном натуральное происхождение. Функциональные продукты питания состоят из витаминов С, D, E и витаминов группы В, каротиноидов, микро- и макроэлементов (магний, кальций, железо, калий, натрий, йод, селен), протеиновых гидролизатов, разных пищевых волокон, полиненасыщенных жирных кислот омега-3, катехинов, антоцианов, бифидобактерий и т.д. Перечень продуктов функционального питания на сегодняшний день очень многообразен. К ним относятся хлебобулочные, макаронные, зерновые (мука, каши, хлопья и т. д.) и кондитерские изделия; мясная продукция (готовые и полуфабрикаты); разные безалкогольные напитки, готовые супы, конфеты [www.medweb.ru MedWeb-Еда «особого назначения»: что такое функциональное питание]. Здоровому питанию современных граждан мешают экологические проблемы – один из кризисов глобализации. Он связан с использованием пестицидов, гормонов и антибиотиков в животноводстве и сельском хозяйстве, а также нитратов и консервантов в пищевой промышленности. Решить глобальную проблему здорового питания совсем не просто!

Продукты современного рациона питания человека небогаты полезными питательными веществами. Основную часть продуктов составляют многочисленные заменители, красители и другие добавки. Современному человеку становится все труднее получать питательные вещества из обычных продуктов. Почвы становятся все более бедными, а современные сельскохозяйственные культуры отличаются высокой урожайностью, большим сроком хранения и удобством транспортировки, но бедны питательными веществами. Сегодня людям часто приходится не уменьшать, а увеличивать количество потребляемой пищи, чтобы получить необходимые питательные вещества из своего рациона. В итоге формируется задача организации здорового образа жизни и питания с тем, чтобы получать все необходимые вещества, не сталкиваясь при этом с проблемой ожирения.

Чтобы улучшить качество жизни населения, его поддержание и воспроизводство – важно внедрить идею здоровья и здорового образа жизни как национальную идею. Необходимо организовать функциональное питание для повышения репродуктивной способности молодежи, улучшения качества жизни инвалидов, малоимущих и пожилых людей, обеспечения здоровья подрастающих поколений [7].

Селекция сельскохозяйственных культур и функциональные продукты питания. Наличие научно-технологических заделов является одним из значимых направлений, определяющих появление новых точек роста в области функциональных продуктов питания [8]. Специализированные селекционные проекты, целенаправленные на выведение сортов для новейших продуктов, были преобразованы, как для главных источников пищи, таких как пшеница, рис, кукуруза, так и для второстепенных зерновых культур, а именно ячмень, овес, просо, сорго. Селекционная наука перешла с общепринятых показателей качества зерна (высокое качество выпечки хлеба и содержание белка для обычной пшеницы или содержание белка, лизина и крахмала для ячменя и овса) в наиболее специализированные – повышенный состав биологически активных соединений, витаминов, пищевых волокон, масел и т. д.



Новым программам селекции необходимы источники генов для того, чтобы улучшить состав полезных для здоровья веществ в зерне, для дальнейшего насыщения его функциональными составляющими при возделывании растений по сравнению с послеуборочным улучшением основных продуктов питания натуральными и синтетическими добавками. Традиционные подходы к селекции растений дополнены маркерной селекцией и генетическим редактированием, а также высокопроизводительными методами хемотипирования, используются для ускорения селекции желаемых генотипов [15]. Одно из значимых направлений селекции растений на разработку продуктов функционального питания – получение сортов с повышенным содержанием каротиноидов и флавоноидов [8].

К классу полифенольных соединений растительного происхождения принадлежат флавоноиды. Их можно отнести к вторичным продуктам метаболизма растений. Главной функцией является защита и противостояние неблагоприятным условиям среды. Флавоноидные соединения частично пигментированы. За окраску у злаковых растений отвечают антоцианы (фиолетовые и голубые пигменты пшеницы, риса), проантоцианидины (красные пигменты пшеницы, риса), флобафены (коричневая окраска семян кукурузы). Флавоноидные соединения являются природными антиоксидантами. Чтобы положительно влиять на различные патологические состояния (артрит, различные виды рака, сердечнососудистые заболевания, болезнь Альцгеймера), человеческому организму (при употреблении в составе растительной пищи) необходимы флавоноидные соединения. Они действенны в лечении ожирения и сахарного диабета 2-го типа. В десятки раз превосходят витамины Е, С и бета-каротин по антиоксидантной активности. Биофлавоноиды, содержащиеся в разных частях растений, а также зерне злаков (эндосперм, алейроновый слой, семенная оболочка, околоплодник), привлекли к себе большое внимание в последнее десятилетие. В целях предупреждения комплекса заболеваний могут быть полезны флавоноиды и антоцианы [2]. К сильнейшим антиоксидантам относятся флавоноиды, а наиболее слабыми являются витамины Е, С и каротиноиды [5].

Растет интерес к функциональным и диетическим продуктам питания для ежедневного потребления, их будущая пищевая ценность и состав могут быть определены на стадии создания сорта. К такой категории пищевой продукции относится зерно мягкой пшеницы с увеличенным количеством антоцианов [3]. Антоцианы – это вторичные растительные метаболиты, признанные природными пигментами, которые придают красный, фиолетовый и синий цвет фруктам, овощам и злакам [11]. Антоцианы содержатся во многих продуктах питания в естественном виде и известны своими потенциальными полезными свойствами для здоровья. Они отвечают за пигмент множества растительных продуктов. Большое количество их содержится во многих сортах ягод, в том числе в ежевике, чернике и клюкве. Биодоступность антоцианов была предметом споров. Сейчас доказано, что они относительно более биодоступны, чем считалось ранее. Предполагается, что противовоспалительные и антиоксидантные свойства антоцианов помогают предотвратить или замедлить наступление некоторых заболеваний. Фенольные соединения, точки зрения влияния на воспаление, обладают способностью останавливать действие противовоспалительных медиаторов, и делают это путем блокирования их производства или действия. Антоцианы – естественный компонент продуктов питания, который привлекает внимание благодаря использованию для профилактики и лечения неблагоприятных последствий для здоровья. Антоцианы имеют мало побочных эффектов и могут быть безопасным и недорогим методом профилактики заболеваний [proportion.ru: Антоцианы, микробиом и польза для здоровья при старении].

Одним из источников антоцианов является окрашенная пшеница (черная, фиолетовая, голубая), которая вызывает большой интерес, поскольку является дешевым источником энергии. Пищевая ценность цветной пшеницы – это функциональность. В зависимости от типа и расположения антоцианов в слое пшеницы в большинстве случаев цветная пшеница имеет три преобладающих цвета: фиолетовый, синий и черный. У фиолетовой пшеницы антоцианы находятся в околоплодном слое, у голубой – в алейроновом слое, а у черной – в околоплодном и алейроновом слоях. Антоцианы обладают сильным антиоксидантным потенциалом, защищая клетку от повреждения свободными радикалами путем их нейтрализации и удаления. В нескольких научных



публикациях сообщалось о пользе антоцианов для здоровья, включая противовоспалительное, противоопухолевое, противодиабетическое, антивозрастное, нейропротекторное действие и профилактику сердечнососудистых заболеваний [9, 10, 13,14]. Окрашенная пшеница может широко использоваться в качестве уникального ингредиента для производства продуктов питания с добавленной стоимостью благодаря своим положительным качествам. Основываясь на потенциале цветных зерен, многие функциональные продукты, такие как чапатти (индийская лепешка), пиво, печенье, кексы, соевый соус, макароны были получены из этой пшеницы.

Генетика и селекция фиолетовой мягкой пшеницы. У фиолетовой (пурпурной) пшеницы присутствует пигментация в перикарпе зерновки. Она произошла от пурпурной тетраплоидной абиссинской пшеницы (*Triticum aethiopicum* Jakubz.) из Эфиопии [11]. В 1870-х годах отобрана в Эфиопии, а затем была завезена в Европу, где широко распространилась. В конечном итоге признак пурпурного зерна был интродуцирован в мягкую пшеницу. Во многих частях мира в 1960-х и 1970-х годах была получена пшеница с фиолетовым зерном для использования в кормовых целях и с целью определения степени гибридизации. Коммерческие сорта пшеницы с фиолетовым зерном были созданы в Австралии, Новой Зеландии, Китае, Канаде и нескольких европейских странах. Интересно, что сорта с фиолетовым зерном до сих пор выращиваются в Эфиопии [6].

Генетика пурпурного околоплодника сложна, поскольку его контролируют три доминантных аллеля: *Pp-1*, расположен в хромосоме 7BL, обозначается как *Pp-B1*, *Pp-D1*, расположен в хромосоме 7DL и *Pp3* расположен на хромосоме 2AL. Таким образом, для развития характеристики пурпурного околоплодника необходимы два дополняющих компонента, расположенных в разных геномах, а именно А и В или А и D. Даже если два другие гена (*Pp-B1* и *Pp-D1*) являются доминантными, зерно не будет фиолетовым в присутствии рецессивного гена *Pp3*. Следовательно, признак пурпурного околоплодника выражен только у аллополиплоидной пшеницы, а не у диплоидных предшественников. Как указывает в обзорной статье М. Гарг и другие, ген *Pp3* (2A) кодирует регуляторный фактор транскрипции bHLH-MYC. Кроме того, в этой же статье говорилось, что Цзян с соавторами предположили, что два фактора транскрипции, т.е. R2R3-MYB и bHLH-MYC совместно регулируют синтез антоцианов в признак пурпурного околоплодника, но фактический механизм, контролирующий этот признак, все еще не ясен [11]. Для упрощения работы с генами *Pp* используются ДНК-маркеры: для гена *Pp-D1* – Xgwm0044, *Pp3* – Xgwm 0312 [16].

Богатым источником макроэлементов (углеводы, жиры и белки), а также микроэлементов (антоцианы, витамины, минералы и каротиноиды) являются окрашенные зерна пшеницы [11]. В 1986 г. в западной Канаде новозеландские линии фиолетовой пшеницы были использованы для выведения сортов для производства кормов и биоэтанола. Коммерческие сорта полезной пшеницы с высоким содержанием антоцианов сейчас выпускаются в Канаде, Китае, Японии и многих европейских странах. Австрийская компания Bakkardlin, одна из ведущих мировых производителей сырья для хлебопекарной и кондитерской промышленности, зарегистрировала новый коммерческий продукт из фиолетовой пшеницы под торговой маркой PurPur (компания Kornspitz, Астен, Австрия). Под зарегистрированной торговой маркой AnthoGrain™ (InfraReady Products Ltd., Саскатун, SK, Канада) были произведены цельная мука, отруби и хлопья. Зерна пурпурной пшеницы признаны новым ингредиентом для пивоварения [12].

Селекционные исследования и поиск генетических ресурсов для пшеницы с пурпурным зерном ведутся по всему миру. С помощью гамма-облучения в Китае были получены пять новых мутантов гексаплоидной пурпурной линии пшеницы K4191 с разным цветом зерна. У трех мутантных линий общее содержание антоцианов было значительно выше, чем у исходной контрольной пшеницы с белым цветом зерна [6]. Несмотря на то, что злаковые растения с окрашенными зернами широко используются в производстве функциональных продуктов питания в Европе, Юго-Восточной Азии, России и в Северной Америке это направление остается слабо развитым, в основном из-за отсутствия фиолетовозерных сортов российской селекции. Впервые в Госреестр России в условиях Средневолжского региона был включен сорт яровой мягкой пшеницы Надира с фиолетовыми зернами, с высокой антиоксидантной активностью спиртовых экстрактов зерна и потенциальной урожайностью более 5,5 т/га. Сорт обладает фиолетовой окраской зерновой оболочки, что указывает на высокое содержание антоцианов,



которые характеризуются повышенной антиоксидантной активностью. Надира – среднеспелый сорт; средняя урожайность в конкурсном сортоиспытании в 2016–2018 гг. составила 4,8 т/га (стандарт Йолдыз – 4,7 т/га); средняя высота растения за 3 года – 103,9 см; число зерен – 29,2 шт.; число колосков в колосе – 16,9 шт.; масса зерна с колоса – 1,23 г; масса 1000 зерен – 41,6 г. Сорт обладает умеренной устойчивостью к бурой ржавчине, мучнистой росе и высокой полевой устойчивостью к пыльной головне.

Сорт Надира можно отнести к ценным сортам, т.к. среднее содержание белка в зерне составляет 13,8 %, а сырой клейковины – 25,5 %. Разжижение теста, валометрическая оценка и общая хлебопекарная оценка соответствуют требованиям ценных сортов [1]. Над выведением нового сорта мягкой яровой пшеницы необычного цвета сотрудники лаборатории селекции и семеноводства полевых культур ОмГАУ работали около десяти лет. Отличные результаты показала отобранная линия. Благодаря высокому содержанию антоцианов зерна пшеница имеет не только фиолетовый оттенок, но и большой перечень полезных свойств. Помимо отличных хлебопекарных качеств пшеница с фиолетовым цветом зерна оказалась весьма устойчива к засухе и вредителям, обладает высоким иммунитетом и не требует обработки химикатами [www.agroxxi.ru Фиолетовая пшеница – гордость селекционеров - АгроXXI].

Влияние фиолетового цвета зерна пшеницы на показатели качества конечной продукции. Высокое содержание антоцианов в фиолетовых зернах обогащает традиционные хлебобулочные изделия новыми питательными свойствами. Антоцианы в некоторой степени разрушаются в процессе переработки, но были обнаружены в готовых хлебобулочных изделиях, таких как цельнозерновой хлеб, макаронны, печенье, каши, блины, крекеры и батончики. Сообщается, что усвояемое потребление антоцианов составляет до 1,03 мг, или 0,83 мг на 100 г цельнозернового хлеба или печенья, выпеченного из фиолетовых пшеничных зерен, соответственно. Ухудшения качества хлеба с добавлением антоцианов не наблюдалось.

Более высокой антиоксидантной способностью и меньшей окислительной деградацией липидов обладало печенье, изготовленное с использованием цельнозерновых фиолетовых зерен, чем обычное бесцветное печенье. По словам некоторых исследователей, качество цельнозернистых макаронных изделий из пурпурной твердой пшеницы *T. durum* существенно не отличалось от коммерческих твердых сортов [12]. Было доказано, что в цельном зерне большинство антиоксидантов содержится в отрубях и зародышевой части зерна. Мука из цельного зерна содержит 83 % от общего количества фенольных соединений в зерне, 79 % от общего количества флавоноидов, 78 % от общего количества зеаксантина и 51 % от общего количества лютеина в зародыше и отрубях. Различные продукты переработки зерна пшеницы (мука, отруби, хлебобулочные изделия с отрубями и без них) подвергались сравнительному анализу антиоксидантной активности экстрактов. Результаты исследования показали, что массовая доля антиоксидантов увеличивалась в следующем ряду: мука, хлеб без добавления отрубей, смесь муки и отрубей (пропорция для приготовления отрубного хлеба), отрубной хлеб, отруби. Было сделано заключение, что антиоксидантную активность продукта повышает добавление отрубей в муку и процесс переработки [5]. Хлесткина с соавторами в обзорной статье указывают на Hrivna и др., которые изучали реологические свойства теста, содержащего 10, 15 и 20 % пурпурных пшеничных отрубей. Добавление отрубей увеличило потерю влаги при выпечке и удельный объем хлеба. Как правило, чем выше содержание отрубей, тем выше консистенция теста. Подробный анализ характеристик муки и теста сортов пшеницы с фиолетовым и синим зерном показал, что цветные сорта пшеницы по основным показателям не отличаются от коммерческих сортов пшеницы. Кроме того, Хлесткина с соавторами, ссылаясь на собственные исследования, сообщали, что органолептические свойства и хлебопекарные качества хлебобулочных изделий из пшеницы с фиолетовым цветом зерна были не хуже, а в некоторых случаях и лучше, чем у изделий, изготовленных из контрольной пшеницы с красным цветом зерна. Было отмечено, что присутствие антоцианов в зерне продлевает срок хранения хлебобулочных изделий и повышает устойчивость к росту растений в стрессовых условиях [6].



Потенциал сохранения цветных злаков также делает разработки в этой области более привлекательными. Хотя содержание антоцианов в фиолетовых сортах пшеницы ниже, чем в темноокрашенных фруктах и ягодах, использование зерновых в качестве источника этих соединений привлекательно тем, что они более доступны, ежедневно потребляются и хранятся дольше, чем фрукты и ягоды [8].

Микроэлементы как важная часть функционального питания. Наиболее важной для общественного здравоохранения во всем мире является проблема дефицита микроэлементов в рационе человека. Рацион питания на основе зерновых отличается низким содержанием микроэлементов и недостаточной их биодоступностью для организма человека, так как селекция этих главных продовольственных и кормовых культур направлена в первую очередь на выведение высокоурожайных сортов для удовлетворения потребительского спроса. Люди в большинстве стран употребляют пищу, основанную на сельскохозяйственных культурах с низким содержанием микроэлементов. Это огромная мировая проблема, вызванная однообразием различных диет, может иметь серьезные последствия для здоровья.

Одно из наиболее распространенных нарушений здоровья – железодефицитная анемия, вызванная во всем мире дефицитом микроэлементов, а дефицит цинка в пище испытывает в среднем одна треть населения планеты. Одним из способов увеличения потребления микроэлементов с пищей является повышение содержания их в пшенице путем селекции. Отмечено, что с помощью сельскохозяйственных технологий и селекции растений сорта зерновых культур могут быть обогащены желательными микроэлементами. Но такие методы могут увеличить содержание микроэлементов в листьях, но не в зерне. Чтобы решить эту проблему, были предложены комбинированные методы, которые сочетают в себе селекционные и агрохимические подходы. Они могут способствовать накоплению микроэлементов в съедобных частях растений. Генетическая изменчивость содержания микроэлементов обычно наиболее выражена в листьях и в меньшей степени – в плодах. Однако скрининг огромных коллекций наиболее главных зерновых культур демонстрирует широкое разнообразие концентраций микроэлементов в зерне [15]. Минералы, такие как железо (Fe), кальций (Ca) и цинк (Zn), являются жизненно важными компонентами здоровья. Например, Fe является неотъемлемой частью гемоглобина, тогда как Ca необходим для костей, а Zn помогает поддерживать общее психическое здоровье. В обзорной статье М. Гарг с соавторами, отмечают что Го и др. сообщили о 100%-м увеличении содержания Zn, Fe, Mg и K в пурпурной пшенице. В этой же статье, Тянь и соавторы отметили увеличение содержания Zn, Fe и Mg на 108,54–142,68; 8,57–42,86 и 5,31–40,63 % соответственно в пшенице разного цвета. Окрашенная пшеница демонстрировала более богатый профиль питательных микроэлементов, чем у белой. В зернах окрашенной пшеницы накапливается больше Fe и Zn.

Витамины – еще один важный микроэлемент, необходимый организму. Как правило, пшеница считается хорошим источником витаминов группы В и витамина Е (токолов). Обычные сорта белой пшеницы содержат 20–40 мкг г⁻¹ общего количества токолов, 2,6–6,1 мкг г⁻¹ тиамина (витамин В1), 0,5–1,1 мкг г⁻¹ рибофлавина (витамин В2) и 1,5–3,2 мкг г⁻¹ пиридоксина (витамин В6). Сравнение цветной пшеницы (черное, фиолетовое и голубое зерно) с белой показало, что среднее содержание витаминов в цветной пшенице намного выше. Фиолетовые и голубые линии пшеницы демонстрируют более высокое разнообразие различных токолов и активность витамина Е. В голубой пшенице на 5–36 % выше содержание витамина Е, в то время как в фиолетовой – на 0,32–57,83 %. В фиолетовых и голубых линиях пшеницы более высокое содержание витаминов В1, В2 и В9. Кроме того, фиолетовая пшеница имеет повышенное количество мелатонина, который благотворно оказывает влияние на здоровье мозга и действует как антиоксидант [11].

Таким образом, разработка концепции «функционального питания» является актуальным решением проблемы нерационального питания населения. Злаки – важнейший компонент рациона человека, необходимый для укрепления здоровья и правильного функционирования организма. Главное правильно выбрать хлебобулочные изделия. По своей усвояемости и содержанию полезных компонентов хлебобулочные изделия сильно различаются [4]. Хотя содержание антоцианов в фиолетовых сортах пшеницы ниже, чем в темноокрашенных фруктах и ягодах, использование зерновых в качестве источника этих соединений привлекательно тем,



что они более доступны, потребляются ежедневно и хранятся дольше, чем фрукты и ягоды [8]. При изготовлении высококачественной муки самые полезные части цельного зерна отсеиваются и выбрасываются. В процессе переработки мука теряет большую часть витаминов, микроэлементов, клетчатки и аминокислот, которые в изобилии содержатся в зерне и необходимы для здоровья человека. Цельнозерновая мука в отличие от муки высшего сорта является идеальным продуктом для человека, поскольку при ее помоле зародыш, оболочка и другие компоненты пшеницы сохраняются. Цельнозерновой хлеб, наряду с фруктами и овощами, является профилактикой сердечнососудистых заболеваний, способен улучшить обмен веществ, нормализовать массу тела, укрепить иммунитет и обеспечить организм жизненно важными питательными веществами [4].

Селекционеры в связи со спросом на функциональные продукты питания уже создали новые селекционные программы, которые направлены на создание сортов зерновых культур с высоким содержанием биоактивных компонентов в зерне, в частности, сортов мягкой пшеницы с фиолетовым цветом зерна [15]. Чтобы облегчить селекцию злаковых культур с высокой антиоксидантной активностью на содержание антиоксидантов в зерне, следует проводить скрининг перспективных сортов и гибридов злаковых культур. Однако целесообразно использовать быстрые, простые, не губительные и, как правило, косвенные способы оценки генотипов на содержания антиоксидантов в зерновых культурах. Успешная селекция по созданию новых высокопродуктивных и высококачественных сортов, богатых антиоксидантами, может быть использована для производства целого ряда продуктов для функционального питания, которое оказывает положительное действие на организм человека и повышает иммунитет [5].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Фиолетовозерный сорт яровой мягкой пшеницы Надира / Н. З. Василова [и др.] // Зернобобовые и крупяные культуры. 2021. № 4. С. 66–75.
2. Гордеева Е. И. Генетическая регуляция фиолетовой окраски перикарпа зерна мягкой пшеницы: дис. ... канд. биол. наук. Новосибирск, 2014. 121 с.
3. Обогащение пищевой продукции антоцианами за счет использования новых форм пшеницы с повышенным содержанием антоцианов / Е. И. Гордеева [и др.] // VII съезд Вавиловского общества генетиков и селекционеров, посвящ. к 100-летию кафедры генетики СПбУ и Ассоциированные Симпозиумы. СПб., 2019. С. 843.
4. Калмыкова Е. В., Калмыкова О. В. Цельнозерновые продукты в современных технологиях хлебопекарной промышленности // Рациональное питание, пищевые добавки и биостимуляторы. 2016. № 1. С. 65–70.
5. Полонский В. И., Лоскутов И. Г., Сумина А. В. Селекция на содержание антиоксидантов в зерне как перспективное направление для получения продуктов здорового питания // Вавиловский журнал генетики и селекции. 2018. Т. 22(3). С. 343–352. DOI: 10.18699/VJ18.370.
6. Создание селекционного материала многолетней и фиолетовозерной яровой пшеницы для выведения сортов с высокой урожайностью, питательной ценностью зерна, пригодного для функционального питания, и экологичностью возделывания в регионах России // Отраслевая сеть инноваций в АПК; Министерство сельского хозяйства Российской Федерации; ФГБОУ-ВО-Омский-ГАУ // apknnet.ru.
7. Функциональное питание – общая проблема «здорового образа жизни» населения государств Евразии // Научные статьи X Евразийского науч. форума: сб. СПб.: Университет при МПА ЕвразЭС, 2019. 189 с.
8. Маркер-контролируемое получение и производство форм пшеницы с повышенным уровнем биофлавоноидов: оценка продукции для обоснования значимости направления / Е. К. Хлесткина [и др.] // Вавиловский журнал генетики и селекции. 2017. № 5. С. 545–553. DOI: 10.18699/VJ17.25-о.
9. One-month strawberry-rich anthocyanin supplementation ameliorates cardiovascular risk, oxidative stress markers and platelet activation in humans / J. M. Alvarez-Suarez et al. // J Nutr Biochem. 2014. Vol. 25(3). P. 289–294. DOI: 10.1016/j.jnutbio.2013.11.002.
10. Dietary anthocyanins and health: data from Flora and Athena EU projects / C. Cerletti et al. // Br J Clin Pharmacol. 2016. Vol. 83(1) P.103–106. DOI: 10.1111/bcp.12943.
11. Rising demand for healthy foods-anthocyanin biofortified colored wheat is a new research trend / M. Garg et al. // Front. Nutr. 2022. Vol. 9. P. 878221.
12. The Strategy for Marker-Assisted Breeding of Anthocyanin-Rich Spring Bread Wheat (*Triticum aestivum* L.) Cultivars in Western Siberia / E. Gordeeva et al. // Agronomy. 2020. Vol. 10(10). P. 1603. DOI: 10.3390/agronomy10101603.

13. Purified anthocyanin supplementation reduces dyslipidemia, enhances antioxidant capacity, and prevents insulin resistance in diabetic patients / D. Li et al. // *J Nutr.* 2015. Vol. 145(4) P.742–748. DOI: 10.3945/jn.114.205674.

14. Effects of anthocyanins on the prevention and treatment of cancer / B. W. Lin et al. // *Br J Pharmacol.* 2017. Vol. 174(11) P. 1226–1243. DOI: 10.1111/bph.13627.

15. Loskutov I. G., Khlestkina E. K. Wheat, Barley and Oat Breeding for Health Benefit Components in Grain // *Plants (Basel)*. 2021. Vol. 10(1). P. 86. DOI: 10.3390/plants10010086.

16. Catalogue of Gene Symbols for Wheat / R. A. McIntosh et al. // *Proceedings of the 12th International Wheat Genetics Symposium*, 8–13 September 2013. Yokohama, Japan.

REFERENCES

1. Violet-green variety of spring soft wheat Nadir / N. Z. Vasilova et al. *The magazine "Leguminous and cereal crops"*. 2021;(4):66–75. (In Russ.).

2. Gordeeva E. I. Genetic regulation of the violet color of the pericarp of the soft wheat grain: dis. ... cand. biol. Sciences. Novosibirsk; 2014. 121 p. (In Russ.).

3. Enrichment of food products with anthocyanins through the use of new forms of wheat with an increased content of anthocyanins / E. I. Gordeeva et al. // VII Congress of the Vavilov Society of Geneticists and Breeders dedicated to the 100th anniversary of the Department of Genetics of St. Petersburg State University and Associated Symposiums. St. Petersburg; 2019. P. 843. (In Russ.).

4. Kalmykova E. V., Kalmykova O. V. Whole grain products in modern technologies of the baking industry. *Journal of Rational Nutrition, Food Additives and Biostimulants*. 2016;(1):65–70. (In Russ.).

5. Polonsky V. I., Loskutov I. G., Sumina A. V., Selection for the content of antioxidants in grain as a promising direction for obtaining healthy food products. *Vavilov Journal of Genetics and Breeding*. 2018; 22(3):343–352. DOI: 10.18699/VJ18.370. (In Russ.).

6. Creation of breeding material of perennial and violet-green spring wheat for breeding varieties with high yield, nutritional value of grain suitable for functional nutrition and environmental friendliness of cultivation in the regions of Russia. Branch network of innovations in Agriculture, Ministry of Agriculture of the Russian Federation, FGBOU-VO-Omsk-GAU // *apknet.ru*. (In Russ.).

7. Functional food is a common problem of “healthy lifestyle” of the population of Eurasian states. St. Petersburg, November 22–23, 2018: collection. Total scientific ed. of the X Eurasian Scientific Forum: collection. St. Petersburg: University associated with the IPA EurAsEC; 2019. 189 p. (In Russ.).

8. Marker-controlled production and production of wheat forms with an increased level of bioflavonoids: evaluation of products to substantiate the significance of the direction / E. K. Khlestkina et al. *Vavilovsky Journal of Genetics and Breeding*. 2017;(5.):545–553. (In Russ.).

9. One-month strawberry-rich anthocyanin supplementation ameliorates cardiovascular risk, oxidative stress markers and platelet activation in humans / J. M. Alvarez-Suarez et al. *J Nutr Biochem*. 2014;(3):289–294. DOI: 10.1016/j.jnutbio.2013.11.002.

10. Dietary anthocyanins and health: data from Flora and Athena EU projects / C. Cerletti et al. *Br J Clin Pharmacol*. 2016;83(1):103–106. DOI: 10.1111/bcp.12943.

11. Rising demand for healthy foods-anthocyanin biofortified colored wheat is a new research trend / M. Garg et al. *Front. Nutr.* 2022;9:878221.

12. The Strategy for Marker-Assisted Breeding of Anthocyanin-Rich Spring Bread Wheat (*Triticum aestivum* L.) Cultivars in Western Siberia / E. Gordeeva et al. *Agronomy*. 2020;10(10):1603. DOI: 10.3390/agronomy10101603.

13. Purified anthocyanin supplementation reduces dyslipidemia, enhances antioxidant capacity, and prevents insulin resistance in diabetic patients / D. Li et al. *J Nutr.* 2015;145(4):742–748. DOI: 10.3945/jn.114.205674.

14. Effects of anthocyanins on the prevention and treatment of cancer / B. W. Lin et al. *Br J Pharmacol*. 2017;174(11):1226–1243. DOI: 10.1111/bph.13627.

15. Loskutov I. G., Khlestkina E. K. Wheat, Barley and Oat Breeding for Health Benefit Components in Grain. *Plants (Basel)*. 2021;10(1):86. DOI: 10.3390/plants10010086.

16. Catalogue of Gene Symbols for Wheat / R. A. McIntosh et al. *Proceedings of the 12th International Wheat Genetics Symposium*, 8–13 September 2013. Yokohama, Japan.

Статья поступила в редакцию 04.04.2023; одобрена после рецензирования 20.04.2023; принята к публикации 26.04.2023.

The article was 04.04.2023; approved after reviewing 20.04.2023; accepted for publication 26.04.2023.

