

ОЦЕНКА КАЧЕСТВА ЗЕРНА СОРТОВ ЯРОВОЙ ПШЕНИЦЫ С ФИОЛЕТОВОЙ ОКРАСКОЙ ЗЕРНА В УСЛОВИЯХ ЦРНЗ

И.Н. ВОРОНЧИХИНА¹, В.С. СИДОРЕНКО², В.С. РУБЕЦ³, В.В. ПЫЛЬНЕВ³,
В.Н. ИГОНИН³, В.В. ВОРОНЧИХИН¹, И.В. ГРУЗДЕВ^{1,4}

(¹ ГБС РАН; ² ФНУ ЗБК

³ Российский государственный аграрный университет –
МСХА имени К.А. Тимирязева

⁴ ВНИИСБ)

В статье представлены результаты изучения хлебопекарных качеств зерна трех сортов мягкой яровой пшеницы, характеризующихся фиолетовой окраской зерна, и краснозерного стандарта Злата в условиях ЦРНЗ. Годы исследований характеризовались контрастными метеорологическими условиями: избыточно увлажненный 2020 г. и засушливый 2021 г. Определение содержания белка проводили на спектрофотометре. Клейковину отмывали ручным методом. Выпечку хлеба проводили по модифицированной методике Государственной комиссии по испытанию и охране селекционных достижений. Аллельный состав высокомолекулярных глютеинов исследовали методом электрофореза по Singh et al. (1991) в модификации Branlard et al. (2001). Установлено, что все сорта яровой пшеницы с фиолетовым зерном по качеству мало уступают стандарту, отличаясь от него двумя аллелями высокомолекулярных глютеинов, влияющих на стабильность проявления хлебопекарных качеств по годам. Качество зерна сильно зависит от метеорологических условий вегетационного периода. Все изученные сорта яровой пшеницы с фиолетовым цветом зерна способны формировать зерно, пригодное для использования в хлебопекарных целях в условиях Нечернозёмной зоны. Количественное содержание белка и сырой клейковины в зерне варьирует по годам, но не уступает стандарту. Качество клейковины варьирует в пределах I и II групп. При этом в условиях засухи клейковина формировалась как более крепкая. Все сорта показали высокий потенциал объемного выхода хлеба: на уровне или выше стандарта. Низкий балл общей хлебопекарной оценки объясняется включениями частиц фиолетовых отрубей, обусловивших более темную окраску мякиша. Положительная корреляционная зависимость между объемным выходом хлеба и содержанием белка проявилась сильнее в год с пониженным содержанием белка в зерне.

Ключевые слова: яровая пшеница, функциональное питание, фиолетовая окраска зерна, антоцианы, антиоксиданты, сорта, хлебопекарная оценка, композиции глютеинов.

Введение

С развитием технологий переработки продукции растениеводства снизилась полноценность рациона человека вследствие использования рафинированных продуктов и широкого применения химических веществ в качестве улучшителей и наполнителей. При этом возросло число тяжелых заболеваний (различного рода аллергии, сердечно-сосудистые, онкологические и т.п.), что обратило на себя внимание ученых и общественных деятелей всего мира. В результате была сформулирована концепция функционального питания, предполагающая создание особой группы продуктов, не являющихся лекарственными препаратами, но улучшающих функционирование человеческого организма.

В нашей стране вышеназванная проблема также не осталась без внимания. Так, в 2006 г. был введен Национальный стандарт ГОСТ Р 52349–2005 «Продукты

пищевые функциональные. Термины и определения». Согласно этому ГОСТу «Функциональный пищевой продукт – это специальный пищевой продукт, предназначенный для систематического употребления в составе пищевых рационов всеми возрастными группами здорового населения, обладающий научно обоснованными и подтвержденными свойствами, снижающий риск развития заболеваний, связанных с питанием, предотвращающий дефицит или восполняющий имеющийся в организме человека дефицит питательных веществ, сохраняющий и улучшающий здоровье за счет наличия в его составе функциональных пищевых ингредиентов» [1, 2].

В состав функциональных пищевых ингредиентов входят, в том числе, вторичные растительные соединения (флавоноиды/полифенолы, каротиноиды, ликопин и др.). К веществам этой группы относятся природные водорастворимые пигменты – антоцианы, придающие фиолетовую окраску растениям или их частям. Антоцианы относятся к флавоноидным пигментам, которые считаются самыми сильными антиоксидантами, способными проявлять профилактические свойства в отношении ряда заболеваний [2, 16].

Вклад в развитие функционального питания в нашей стране может внести создание сортов хлебопекарной пшеницы с фиолетовым зерном. Его окраска обусловлена антоцианом цианидин-3-глюкозидазой, основное количество которого сконцентрировано в хлорофиллоносном слое перикарпия зерновки [10, 11, 13]. Комплементарные гены фиолетовой окраски Pp-B1 и Pp3, локализованные в 7В- и 2А-хромосомах соответственно, были введены в кормовые сорта мягкой пшеницы от тетраплоидного эндемика Эфиопии – *Triticum aethiopicum* [5, 16]. Обнаружено сцепление этих генов с хозяйственно-ценными генами, детерминирующими качество зерна, устойчивость к болезням, засухе, продолжительность вегетационного периода и др. [15, 16]. Это позволяет предполагать возможность получения ценного селекционного материала для создания коммерческих сортов пшеницы с фиолетовым зерном, пригодных для изготовления хлеба с функциональными свойствами.

В настоящее время работа с фиолетовозерными сортообразцами яровой пшеницы проводится в Омском ГАУ, Институте цитологии и генетики СО РАН, Татарском НИИСХ, ФИЦ КазНЦ РАН, ФНЦ зернобобовых и крупяных культур, РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева, в Отделе отдаленной гибридизации ГБС РАН, и уже есть успехи в этом направлении.

Впервые в 2022 г. в Государственном реестре селекционных достижений, допущенных к использованию, появился фиолетовозерный сорт яровой мягкой пшеницы Надира селекции Татарского НИИСХ, включенный в Госреестр по Волго-Вятскому, Средневолжскому и Уральскому регионам [6]. Новый сорт Памяти Коновалова селекции ФНЦ зернобобовых и крупяных культур находится на Государственном сортоиспытании (Заявка № 82458 от 18 ноября 2020 г.). Он заявлен для Центрально-Черноземного региона. Получена изогенная линия сорта Иволга с фиолетовым зерном в РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева. Однако технологические качества сортов с фиолетовым зерном нуждаются во всестороннем изучении для успешного использования их в селекционных программах.

Центральный район Нечерноземной зоны России относится к зонам рискованного земледелия. Однако доказано, что имеется возможность получения сортов яровой пшеницы со стабильной урожайностью и высоким качеством зерна [14].

Одним из важнейших показателей качества зерна является содержание в нем клейковины. Клейковина – уникальное вещество, характерное для зерна пшеницы, состоящее в основном из сложного комплекса запасных белков двух фракций: проламинов (спирторастворимая фракция, у пшеницы называются глиадинами); глютелинов (щелочерастворимая фракция, у пшеницы называются глютенинами). Эти белки находятся в сложном взаимоотношении, которое определяет функциональные

свойства клейковины и качество испеченного хлеба [8]. Фракционный состав глютеинов определяется путем электрофореза.

Наибольший интерес представляют высокомолекулярные глютеины (HMW-GS), которые определяются полиморфными локусами *Glu-A1*, *Glu-B1* и *Glu-D1*, расположенными в хромосомах первой гомеологической группы [19]. Показано, что определенные композиции высокомолекулярных глютеинов могут влиять на хлебопекарные качества пшеницы. Так, аллелям локуса *Glu-A1* – *Glu-Ax1*, *Glu-Ax2** и Null-аллель присвоены баллы согласно степени их влияния на хлебопекарные качества: 3, 3 и 1 соответственно. Лocus *Glu-B1* имеет пять аллелей с различными баллами оценки: *Vx7+Vy8* (3 балла); *Vx7+Vy9* (2 балла); *Vx6+Vy8* (1 балл); *Vx17+Vy18* (3 балла); *Vx7* (1 балл). Лocus *Glu-D1* имеет четыре аллеля: *D5+Dy10* (4 балла); *Dx2+Dy12* (2 балла); *Dx3+Dy12* (2 балла); *Dx4+Dy12* (2 балла) [4]. Суммируя баллы для всех локусов, имеющих у конкретного генотипа пшеницы, можно получить глютеиновый индекс (*Glu-score*), служащий показателем хлебопекарных качеств [18].

В статье приводятся результаты прямой оценки хлебопекарных качеств зерна пшеницы с фиолетовым зерном. Сопоставление этих данных с составом глютеин-кодирующих локусов позволит выявить компонентный состав основной фракции белков клейковины и потенциальные возможности изученных сортов в условиях ЦРНЗ.

Цель исследований: проведение сравнительной оценки биохимических и хлебопекарных качеств сортов яровой пшеницы с фиолетовым зерном, сопоставление их с комбинациями высокомолекулярных глютеинов (HMW-GS) для выявления соответствия показателя глютеинового индекса (*Glu-score*) реальным хлебопекарным качествам в условиях ЦРНЗ.

Материал и методика исследований

Материалом исследований послужили три сорта яровой мягкой пшеницы с фиолетовым зерном: Иволга фиолетовая, Памяти Коновалова и Laval 19. В качестве стандарта использовали сорт Злата (табл. 1).

Таблица 1

Исследованные сорта яровой пшеницы

№ п/п	Название сорта	Разновидность	Происхождение
1	Иволга фиолетовая	<i>vigorovii</i>	РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева
2	Памяти Коновалова	<i>uralicum</i>	ФНЦ зернобобовых и крупяных культур, г. Орел
3	Laval 19	<i>uralicum</i>	Канада, Квебек
4	Злата (стандарт)	<i>lutescens</i>	ФИЦ «Немчиновка», Верхневолжский ФАНЦ

Работа проведена в условиях ЦРНЗ в 2020–2021 гг. с использованием общепринятых в селекционном процессе методик Государственного сортоиспытания [9]. Площадь делянки составила 1 м², повторность 3-кратная, размещение систематическое, агротехника, общепринятая для зоны; посев кассетной сеялкой, уборка и обмолот вручную.

Аллельное состояние глютеин-кодирующих локусов устанавливали по результатам электрофореза запасных белков эндосперма [17, 19, 20].

Статистическую обработку результатов проводили с использованием однофакторного дисперсионного анализа и программ «DIANA», «AGROS». Данные,

выраженные в процентах, перед обработкой были преобразованы в угол-арксинус $\sqrt{\text{процент}}$ с последующим обратным переводом [7].

Годы исследований отличались по метеорологическим условиям (рис. 1). В 2020 г. растения были обеспечены в избытке влагой и теплом, что привело к развитию большой площади фотосинтезирующей поверхности, обеспечившей высокий урожай зерна с низким содержанием белка. В 2021 г. метеорологические условия вегетации не способствовали получению высоких урожаев. Засуха в период от формирования до созревания зерна привела к недостаточному накоплению крахмала в эндосперме и, как следствие, к высокому содержанию белка.

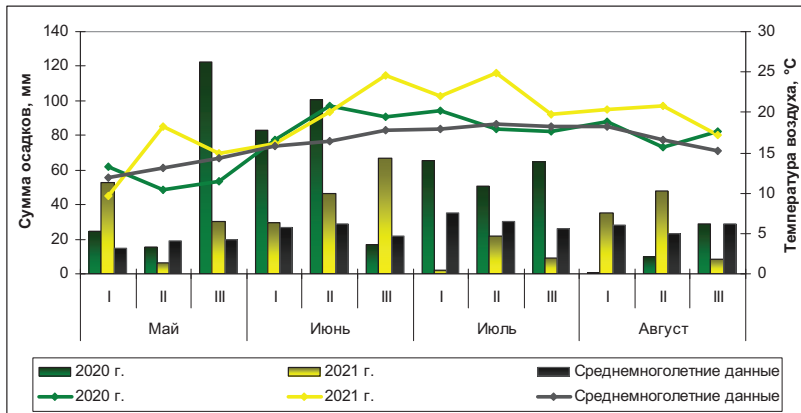


Рис. 1. Метеорологические условия лет исследований (2020–2021 гг.)

Результаты и их обсуждение

Зерно всех сортов пшеницы, сформировавшееся в условиях избыточного увлажнения 2020 г., характеризовалось низким содержанием белка и клейковины (табл. 2). Сорты достоверно различались по этим показателям. Стандарт имел среднее содержание белка (12,8%), соответствующее хорошему филлеру [10]. Иволга фиолетовая характеризовалась минимальным значением показателя, соответствующим слабой пшенице. Самым высоким содержание белка было у сортов Памяти Коновалова и Laval 19 (более 13%), соответствующее уровню ценной по качеству пшеницы.

Клейковина, отмытая из шрота фиолетовозерных сортов, получилась темной, окрашенной антоцианами (рис. 2). По содержанию сырой клейковины только Иволга фиолетовая отличалась от всех остальных сортов минимальными значениями на уровне слабой пшеницы. У этого сорта клейковина плохо отмывалась, крошилась, тяжело формировала связную массу. Возможно, в процессе отмывания часть ее была утеряна. При этом качество клейковины было высоким, отнесенным к I группе (табл. 3). Остальные сорта имели содержание сырой клейковины на уровне сильной пшеницы (28–30%). У сорта Laval 19 качество соответствовало I группе, у остальных сортов – II группе. Такая характеристика клейковинного комплекса позволяет предположить довольно низкие хлебопекарные качества у Иволги фиолетовой и достаточно хорошие – у всех остальных сортов.

Засуха и высокая температура в период от формирования до созревания зерна в 2021 г. способствовали усыханию зерна опытных сортов яровой пшеницы раньше времени, недостаточной выполненности и высокому содержанию белка (табл. 2). Рекордным содержанием белка в зерне характеризовался сорт Laval 19 (18,4%). Остальные сорта имели значения, превышающие 16%. Содержание сырой клейковины

у всех сортов было очень высоким – выше 30%. Качество ее соответствовало I группе у всех сортов, за исключением сорта Иволга фиолетовая, у которого качество соответствовало II группе (табл. 3). Такая характеристика предполагает высокие хлебопекарные качества, что и было получено при лабораторной выпечке (табл. 4, рис. 3).

Таблица 2

Характеристика фиолетовозерных сортов пшеницы по биохимическим свойствам зерна, 2020–2021 гг.

Сорт	Содержание белка, %			Содержание сырой клейковины, %			
	2020 г.	2021 г.	\bar{x}	2020 г.	2021 г.	\bar{x}	V, %
«Иволга фиолетовая» [4]	10,8 a*	16,8 b	13,8	18,2	36,4	27,3	48
Памяти Коновалова	13,5 c	16,4 a	15,0	30,2	31,5	30,9	3
Laval 19	13,3 c	18,4 c	15,8	28,2	32,2	30,2	9
Злата (стандарт)	12,8 b	16,8 b	14,8	30,6	36,1	33,3	12
НСР ₀₅	0,3	0,2	3,0	–	–	17,1	–

*Буквами обозначены достоверные различия между вариантами по критерию Дункана. Одинаковые буквы означают отсутствие различий, разные буквы – их наличие. Отсутствие букв означает отсутствие достоверных различий между вариантами.



Рис. 2. Клейковина фиолетовозерных сортов пшеницы, 2020 г.

Проследим влияние метеорологических условий года на содержание сырой клейковины в зерне. Менее всего влиянию года оказался подвержен сорт Памяти Коновалова (коэффициент вариации – 3%), за ним следует Laval 19 с коэффициентом вариации 9%. Стандарт Злата характеризовался средней вариабельностью признака (коэффициент вариации – 12%), а Иволга фиолетовая – очень сильной вариабельностью (коэффициент вариации – 48%).

В 2020 г. хлебопекарные качества всех представленных сортов пшеницы были невысокими (табл. 4, рис. 3). Объемный выход хлеба фиолетовозерных сортов Памяти Коновалова и Laval 19 достоверно превышал аналогичный показатель у стандарта и сорта Иволга фиолетовая. Тем не менее, согласно баллу общей хлебопекарной оценки, только стандарт Злата соответствовал уровню сильной пшеницы. Сорта Памяти Коновалова и Laval 19 соответствовали уровню хорошего филлера, а Иволга фиолетовая – уровню удовлетворительного филлера.

В 2021 г. сложилось уникальное сочетание метеорологических условий, позволившее выявить потенциальные возможности изученных сортов яровой пшеницы. Хлебопекарные качества всех сортов были превосходными (табл. 4, рис. 3). Максимальными значениями объемного выхода хлеба отличались сорта Иволга фиолетовая

и Laval 19. При этом их общая хлебопекарная оценка получилась несколько ниже, чем у стандарта. Причиной стало то, что при анализе показателей качества выпеченного хлеба эти сорта получили низкие баллы за цвет мякиша, который имел сероватый оттенок вследствие попадания в муку частичек фиолетовых отрубей. Тем не менее все фиолетовозерные сорта по общей хлебопекарной оценке соответствовали уровню ценной по качеству пшеницы (4,0–4,4 балла).

Представленные данные позволяют увидеть влияние метеорологических условий года на формирование хлебопекарных качеств сортов яровой пшеницы с фиолетовым зерном. Заметно, что у сорта Памяти Коновалова хлебопекарные качества менее всего подвержены влиянию условий вегетации. У сортов Иволга фиолетовая и Laval 19 в засушливом году проявились потенциальные возможности, незаметные в остальных условиях. Стандарт Злата в оба года имел одинаковый общий балл хлебопекарной оценки, хотя и сильно варьировал по объемному выходу хлеба.

Таблица 3

Качество клейковины фиолетовозерных сортов пшеницы, 2020–2021 гг. [4]

Сорт	Характеристика клейковины по упругости					
	2020 г.			2021 г.		
	Упругость по ИДК	Группа качества	Характеристика клейковины	Упругость по ИДК	Группа качества	Характеристика клейковины
Иволга фиолетовая	53,43	I	хорошая	76,72	II	удовлетворительная, слабая
Памяти Коновалова	78,91	II	удовлетворительная, слабая	63,2	I	хорошая
Laval 19	72,92	I	хорошая	56,14	I	хорошая
Злата (стандарт)	75,24	II	хорошая	60,51	I	хорошая

Таблица 4

Характеристика хлебопекарных качеств фиолетовозерных сортов пшеницы, 2020–2021 гг.

Сорт	Объемный выход хлеба, мл			Общая хлебопекарная оценка, балл	
	2020 г.	2021 г.	среднее	2020 г.	2021 г.
Иволга фиолетовая	229 a	753 c	491	3,0	4,3
Памяти Коновалова	408 bc	558 a	483	3,9	4,1
Laval 19	455 c	713 c	584	3,6	4,4
Злата (стандарт)	295 a	598 a	446	4,6	4,6
НСР ₀₅	82	56	нет	–	–

*Буквами обозначены достоверные различия между вариантами по критерию Дункана.

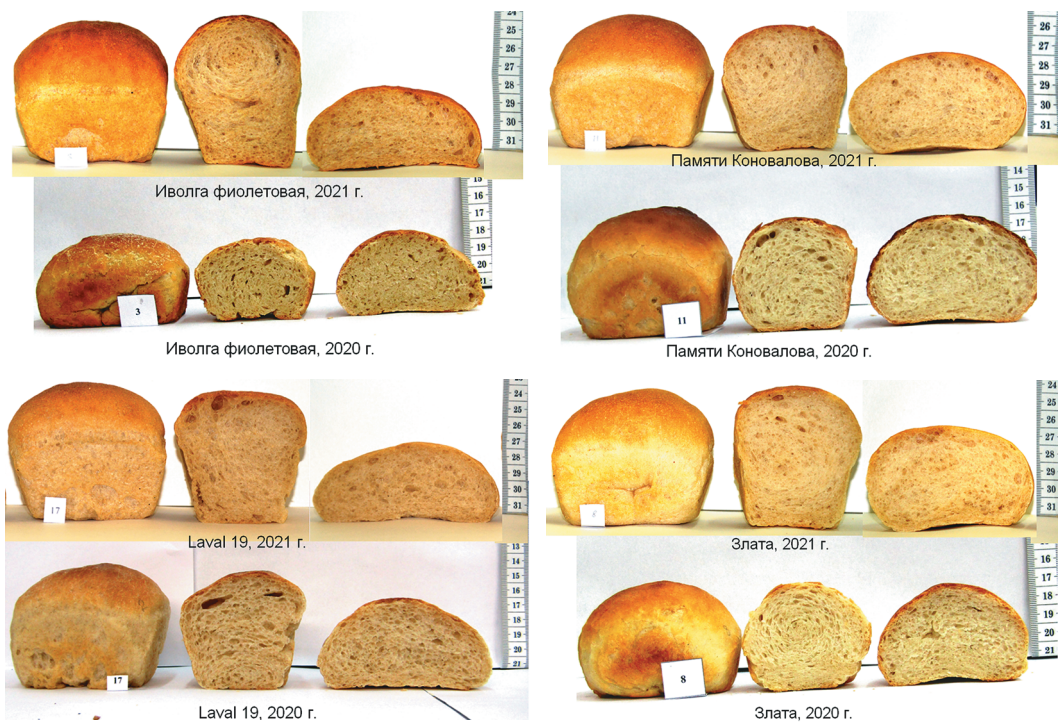


Рис. 3. Влияние метеорологических условий вегетации на объемный выход хлеба

Как известно, хлебопекарные качества зерна пшеницы зависят от содержания белка и клейковины [1, 3]. В наших исследованиях это правило проявилось в оба года. Так, коэффициент корреляции между объемным выходом хлеба и содержанием белка в зерне составил 0,868 и 0,533 для 2020 и 2021 гг. соответственно. При этом связь первого показателя с содержанием сырой клейковины в оба года оказалась ниже: коэффициент корреляции составил 0,653 в 2020 г., и только 0,357 – в 2021 г. Как ни странно, в 2021 г. высокие показатели белковости зерна коррелировали с хлебопекарными качествами слабее, чем низкие, в 2020 г.

Анализ электрофореграмм глютелинов изученных сортов фиолетовозерной пшеницы показал однообразие по композициям высокомолекулярных глютелинов (табл. 5, рис. 4). Модельный сорт Chinese Spring имеет композицию высокомолекулярных глютелинов, дающих в сумме низкий балл глютелинового индекса – 6. Однако он имеет аллель Glu B1 (7+8), позволяющий идентифицировать аналогичный аллель у сорта Злата.

Состав глютелинов фиолетовозерных сортов соответствовал модельному сорту Лада, имеющему высокий глютелиновый индекс – 9. Сравнение общей хлебопекарной оценки и глютелинового индекса показал, что у фиолетовозерных сортов имеется высокий потенциал хлебопекарных качеств, соответствующий уровню ценной по качеству пшенице, проявляющийся в годы недостаточного увлажнения. Только стандарт Злата отличался от них наличием иных аллелей локусов Glu A1 (Glu-Ax2*) и Glu B1 (Bx7+By8). Его глютелиновый индекс был максимальным – 10. Это позволяет предполагать более высокие хлебопекарные качества сорта Злата относительно всех фиолетовозерных сортов, что было подтверждено сравнением общей хлебопекарной оценки, которая в оба года исследований соответствовала уровню сильной по качеству пшенице. Очевидно, что такая комбинация высокомолекулярных глютелинов определяет стабильность качества хлеба пшеницы.

Генетические формулы сортов яровой пшеницы по спектру высокомолекулярных глютеинов [4]

Сорт	Формулы BM глютеинов			Показатель качества (Glu-score)
	Glu A1	Glu B1	Glu D1	
Chinese Spring	Null	7+8	2+12	6
Лада	1	7+9	5+10	9
Иволга фиолетовая	1	7+9	5+10	9
Памяти Коновалова	1	7+9	5+10	9
Laval 19	1	7+9	5+10	9
Злата	2*	7+8	5+10	10

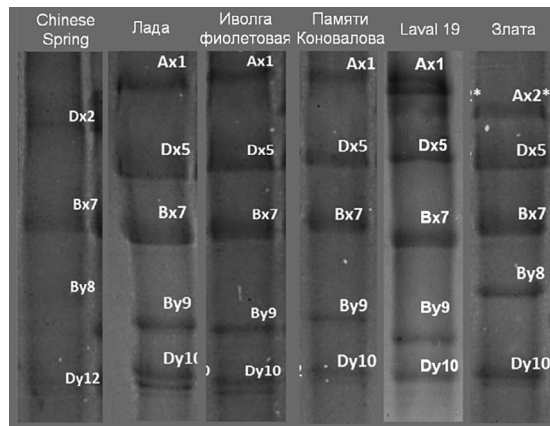


Рис. 4. Электрофореграммы глютеинов изученных сортов яровой пшеницы

Выводы

1. Все изученные сорта яровой пшеницы с фиолетовым цветом зерна способны формировать зерно, пригодное для использования в хлебопекарных целях в условиях Нечернозёмной зоны. Качество зерна сильно зависит от метеорологических условий вегетационного периода.

2. Количественное содержание белка сырой клейковины в зерне варьирует по годам, но не уступает стандарту. Качество клейковины варьировало в пределах I и II групп. При этом в условиях засухи клейковина формировалась как более крепкая.

3. Все сорта показали высокий потенциал объемного выхода хлеба: на уровне или выше стандарта. Низкий балл общей хлебопекарной оценки объясняется включениями частиц фиолетовых отрубей, обусловивших более темную окраску мякиша.

4. Положительная корреляционная зависимость между объемным выходом хлеба и содержанием белка проявилась сильнее в год с пониженным содержанием белка в зерне.

5. Все сорта с фиолетовым зерном имели одинаковый состав высокомолекулярных глютеинов, идентичный сорту Лада и отличный от стандарта Злата двумя аллелями.

6. Выявлено соответствие композиций высокомолекулярных глютеинов общей хлебопекарной оценке опытных сортов пшеницы. Фиолетовозерные сорта с композициями Glu A1 (1), Glu B1 (7+9) и Glu D1 (5+10) характеризовались нестабильным проявлением хлебопекарных качеств по годам. Сорт Злата с композицией Glu A1 (2*), Glu B1 (7+8) и Glu D1 (5+10) проявлял стабильно высокие показатели хлебопекарной оценки.

Сотрудниками ГБС РАН исследование выполнено в рамках ГЗ ГБС РАН (№ 122042500074–5)

Библиографический список

1. Абделькави Р.Н., Щуклина О.А., Ермоленко О.И., Соловьев А.А. Стабильность и пластичность генотипов яровой тритикале по урожайности и качеству зерна // *Аграрный научный журнал*. – 2020. – № 4. – С. 4–9.
2. Василова Н.З., Асхадуллин Д.Ф., Багабиева Э.З. и др. Фиолетовозерный сорт яровой мягкой пшеницы Надира // *Зернобобовые и крупяные культуры*. – 2021. – № 4 (40). – С. 66–75.
3. Ворончихина И.Н., Ворончихин В.В., Рубец В.С., Пыльнев В.В., Клепикова А.С. Оценка коллекции яровой мягкой пшеницы в условиях Центрального района Нечерноземной зоны России // *Аграрный научный журнал*. – 2021. – № 8. – С. 13–18.
4. Ворончихина И.Н. Комплексная оценка коллекции мягкой яровой пшеницы в условиях Центрального района Нечерноземной зоны России: Дис. ... канд. биол. наук. – Москва, 2022. – 298 с.
5. Гончаров Н.П. Сравнительная генетика пшениц и их сородичей. – Изд. 2-е, испр. и доп. / Российская академия наук, Сибирское отделение, Институт цитологии и генетики. – Новосибирск: Академическое изд-во «Гео», 2012. – 523 с.
6. Государственный реестр селекционных достижений, допущенных к использованию. – Т. 1 «Сорта растений»: Официальное издание. – М.: ФГБНУ «Росинформгротех», 2022. – 719 с.
7. Доспехов Б.Д. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований). – М.: Альянс, 2014. – 351 с.
8. Козьмина Н.П., Гунькин, Суслиянов Г.М. Теоретические основы прогрессивных технологий. Зерноведение (с основами биохимии растений). – М.: Колос, 2006. – 464 с.
9. Методика государственного сортоиспытания сельскохозяйственных культур. – Вып. первый. Общая часть / Под общ. ред. М.А. Федина. – М., 1985. – 270 с.
10. Носатовский А.И. Пшеница. Биология: М. – М.: Государственное изд-во сельскохозяйственной литературы, 1965. – 407 с.
11. Полонский В.И., Лоскутов И.Г. Селекция на содержание антиоксидантов в зерне как перспективное направление для получения продуктов здорового питания // *Вавиловский журнал генетики и селекции*. – 2018. – № 22 (3). – С. 343–352.
12. Практикум по селекции и семеноводству полевых культур: Учебное пособие / Под ред. проф. В.В. Пыльнева. – СПб.: Лань, 2022. – 448 с.
13. Рубец В.С., Ворончихина И.Н., Игонин В.Н., Сидоренко В.С., Ворончихин В.В. Характеристика фиолетовозерных сортов яровой мягкой пшеницы в условиях Центрального района Нечерноземной зоны России // *Международный сельскохозяйственный журнал*. – 2022. – № 5. – С. 525–529.
14. Справочник агронома по сельскохозяйственной метеорологии. Нечерноземная зона Европейской части РФСР / Под. ред. И.Г. Грингофа. – Л.: Гидрометеиздат, 1986. – 518 с.

15. Фисенко А.В., Калмыкова Л.П., Кузнецова Н.Л., Кузьмина Н.П., Ермоленко О.И., Упелниек В.П. Селекция фиолетовозерной мягкой пшеницы и ее технологические свойства // *Аграрная Россия*. – 2020. – № 10. – С. 43–48.
16. Хлесткина Е.К. Гены, детерминирующие окраску различных органов пшеницы // *Вавиловский журнал генетики и селекции*. – 2012. – Т. 16, № 1. – С. 202–216.
17. Branlard G., Dardevet M., Amiour N., Igrejas G. Allelic diversity of HMW and LMW glutenin subunits and omega gliadins in French bread wheat (*Triticum aestivum* L.) // *Genetic Resources and Crop Evolution*. – 2001. – Vol. 50. – Pp. 669–679.
18. Payne P.I., Nightingale M.A., Krattiger A.F., Holt L.M. The relationship between HMW glutenin subunits composition and the bread-making quality of British-grown wheat varieties // *Journal of the Science of Food and Agriculture*. – 1987. – Vol. 40. – Pp. 51–65.
19. Payne P.L., Lawrence G. Catalogue of alleles for the complex gene loci, Glu-A1, Glu-B1, and Glu-D1 which code for high molecular-weight subunits of glutenin in hexaploid wheat // *Cereal Research Communications*. – 1983. – Vol. 11. – Pp. 29–35.
20. Singh N.K., Shepherd K.W., Langridge P. et al. Purification and biochemical characterization of triticin, a legumin-like protein in wheat endosperm // *Journal of Cereal Science*. – 1991. – Vol. 13. – Pp. 207–219.

EVALUATING THE GRAIN QUALITY OF SPRING WHEAT VARIETIES WITH PURPLE GRAIN COLORING IN THE CONDITIONS OF THE CENTRAL REGION OF THE NON-CHERNOZEM ZONE

I.N. VORONCHIKHINA¹, V.S. SIDORENKO², V.S. RUBETS³,
V.V. PYLNEV³, V.N. IGONIN³, V.V. VORONCHIKHIN¹, I.V. GRUZDEV^{1,4}

(¹N.V.Tsitsin's Botanical Garden of the Russian Academy of Sciences;

²Federal Scientific Center of Legumes and Groat Crops;

³Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy;

⁴All-Russia Research Institute of Agricultural Biotechnology)

The article presents the results of the study of the baking qualities of grain of three varieties of soft spring wheat characterized by purple grain colouring, and the red grain standard of Zlata in the conditions of the Central region of the Non-Chernozem zone. The years of the study were characterized by contrasting meteorological conditions – excessively humid year 2020 and arid year 2021. Protein content was determined using a spectrophotometer. Gluten was washed manually. Bread baking was carried out according to the modified methodology of the State Commission for Testing and Protection of Breeding Achievements. The allelic composition of high molecular weight glutenins was carried out by electrophoresis according to Singh et al., (1991) in the modification of Branlard et al. (2001). It has been found that all varieties of spring wheat with purple grain colouring are not inferior in quality to the standard, differing from it by two alleles of high-molecular glutenins, affecting the stability of manifestation of baking qualities by year. The quality of the grain is highly dependent on the meteorological conditions of the growing season. All the studied varieties of spring wheat with a purple grain colouring are able to form a grain suitable for baking in the conditions of the Non-Chernozem zone. The quantitative protein and crude gluten content in grain varies by year, but is not inferior to the standard. The quality of gluten varied within groups I and II. At the same time, the gluten was stronger under drought conditions. All varieties showed a high potential of bread volume yield – at or above the standard. The low score of the general bakery evaluation is explained by inclusions of purple bran particles, which caused a darker colouring of the crumb. The positive correlation between the volume yield of bread and the protein content was stronger in the year with reduced protein content in grain.

Key words: *spring wheat, functional nutrition, purple grain coloring, anthocyanins, antioxidants, varieties, bakery evaluation, gluten compositions*

References

1. *Abdel'kavi R.N., Shhuklina O.A., Ermolenko O.I., Solov'ev A.A.* Stabil'nost' i plastichnost' genotipov yarovoy tritikale po urozhaynosti i kachestvu zerna [Stability and plasticity of spring triticale genotypes in terms of grain yield and quality]. *Agrarniy nauchniy zhurnal*. 2020; 4: 4–9. (In Rus.)
2. *Vasilova N.Z., Askhadullin D.F., Bagavieva E.Z.* Fioletovozerniy sort yarovoy myagkoy pshenitsy Nadira [Violet-black variety of spring soft wheat Nadira]. *Zernobobovye i krupyanye kul'tury*. 2021; 4 (40): 66–75. (In Rus.)
3. *Voronchikhina I.N., Voronchikhin V.V., Rubets V.S., Pylnev V.V., Klepikova A.S.* Otsenka kolleksii yarovoy myagkoy pshenitsy v usloviyakh Tsentral'nogo rayona Nechernozemnoy zony Rossii [Evaluation of the collection of spring bread wheat in the conditions of the Central region of the Non-Chernozem zone of Russia]. *Agrarniy nauchniy zhurnal*. 2021; (8): 13–18. (In Rus.)
4. *Voronchikhina I.N.* Kompleksnaya otsenka kolleksii myagkoy yarovoy pshenitsy v usloviyakh Tsentral'nogo rayona Nechernozemnoy zony Rossii [Comprehensive evaluation of the collection of soft spring wheat in the conditions of the Central region of the Non-Chernozem zone of Russia]. PhD (Bio) thesis. Moscow, 2022: 298. (In Rus.)
5. *Goncharov N.P.* Sravnitel'naya genetika pshenits i ikh sorodichey [Comparative genetics of wheat and their relatives]. 2^d edition revised and enlarged. Ros. akad. nauk. Sib. otd-nie, In-t tsitologii i genetiki. Novosibirsk: Akademicheskoe iz-vo "Geo", 2012: 523. (In Rus.)
6. Gosudarstvenniy reestr selektsionnykh dostizheniy, dopushchennykh k ispol'zovaniyu. T.I. "Sorta rasteniy" (ofi tsial'noe izdanie) [State register of selection achievements approved for use. V.I. "Varieties of Plants" (official edition)]. M.: FGBNU "Rosinformagrotekh", 2022: 719. (In Rus.)
7. *Dospekhov B.D.* Metodika polevogo opyta (s osnovami statisticheskoy obrabotki rezul'tatov issledovaniy) [Field experiment technique (with the basics of statistical processing of research results)]. M.: Al'yans, 2014: 351. (In Rus.)
8. *Koz'mina N.P., Gun'kin V.A., Suslyanok G.M.* Teoreticheskie osnovy progressivnykh tekhnologiy (Biotekhnologiya). *Zernovedenie (s osnovami biokhimii rasteniy)* [Theoretical foundations of progressive technologies (Biotechnology). Grain science (with the basics of plant biochemistry)]. M.: Kolos, 2006: 464. (In Rus.)
9. *Fedin M.A. et al.* Metodika gosudarstvennogo sortoispytaniya sel'skokhozyaystvennykh kul'tur. Tekhnologicheskaya otsenka zernovykh, krupyanykh i zernobobovykh kul'tur [Methodology for state variety testing of agricultural crops. Technological evaluation of cereals, cereals and leguminous crops]. Moscow, 1988: 122. (In Rus.)
10. *Nosatovskiy A.I.* Pshenitsa. *Biologiya* [Wheat. Biology]. M.: Gosudarstvennoe izd-vo sel'skokhozyaystvennoy literatury, 1965: 407. (In Rus.)
11. *Polonskiy V.I., Loskutov I.G.* Seleksiya na sodержanie antioksidantov v zerne kak perspektivnoe napravlenie dlya polucheniya produktov zdorovogo pitaniya [Selection for antioxidant content in grain as a promising area for healthy food]. *Vavilovskiy zhurnal genetiki i selektsii*. 2018; 22 (3): 343–352. (In Rus.)
12. *Pylnev V.V. et al.* Praktikum po selektsii i semenovodstvu polevykh kul'tur: Uchebnoe posobie [Workshop on selection and seed production of field crops: Textbook]. SPb.: Izd-vo "Lan", 2022: 448. (In Rus.)
13. *Rubets V.S., Voronchikhina I.N., Igonin V.N., Sidorenko V.S., Voronchikhin V.V.* Charakteristika fioletovozernykh sortov yarovoy myagkoy pshenitsy v usloviyakh tsentral'nogo rayona Nechernozemnoy zony Rossii [Characteristics of violet-bearing varieties of spring

soft wheat in the conditions of the Central region of the Non-Chernozem zone of Russia]. *Mezhdunarodniy sel'skokhozyaystvenniy zhurnal*. 2022; 5: 525–529. (In Rus.)

14. *Gringofa I.G. et al.* Spravochnik agronoma po sel'skokhozyaystvennoy meteorologii. Nechernozemnaya zona Evropeyskoy chasti RFSR [Handbook of an agronomist on agricultural meteorology. Non-Chernozem zone of the European part of the RFSR]. L.: Gidrometeoizdat, 1986: 518 (In Rus.)

15. *Fisenko A.V., Kalmykova L.P., Kuznetsova N.L., Kuzmina N.P., Ermolenko O.I., Upeľnik V.P.* Seleksiya fioletovozernoy myagkoy pshenitsy i ee tekhnologicheskie svoystva [Selection of violet-colored soft wheat and its technological properties]. *Agrarnaya Rossiya*. 2020; 10: 43–48. (In Rus.)

16. *Khlestkina E.K.* Geny, determiniruyushchie okrasку razlichnykh organov pshenitsy [Genes determining the coloration of various organs of wheat]. *Vavilovskiy zhurnal genetiki i seleksii*. 2012; 16 (1): 202–216. (In Rus.)

17. *Branlard G., Dardevet M., Amiour N., Igrejas G.* Allelic diversity of HMW and LMW glutenin subunits and omega gliadins in French bread wheat (*Triticum aestivum* L.). *Genetic Resources and Crop Evolution*. 2001; 50: 669–679.

18. *Payne P.I., Nightingale M.A., Krattiger A.F., Holt L.M.* The relationship between HMW glutenin subunits composition and the bread-making quality of British-grown wheat varieties. *Journal of the Science of Food and Agriculture*. 1987; 40: 51–65.

19. *Payne P.L., Lawrence G.* Catalogue of alleles for the complex gene loci, Glu-A1, Glu-B1, and Glu-D1 which code for high molecular-weight subunits of glutenin in hexaploid wheat. *Cereal Research Communications*. 1983; 11: 29–35.

20. *Singh N.K., Shepherd K.W., Langridge P.* Purification and biochemical characterization of triticin, a legumin-like protein in wheat endosperm. *Journal of Cereal Science*. 1991; 13: 207–219.

Ворончихина Ирина Николаевна, канд. биол. наук, научный сотрудник отдела отдаленной гибридизации ГБС РАН; 127550, Российская Федерация, г. Москва, ул. Ботаническая, 4; тел.: (999) 823–06–91; e-mail: yarinkapanfilova@gmail.com

Сидоренко Владимир Сергеевич, канд. с.-х. наук, заместитель директора по селекционной работе, Федеральный научный центр зернобобовых и крупяных культур; 302502, Российская Федерация, Орловская обл., Орловский р-н, п. Стрелецкий, ул. Молодежная, 10; e-mail: office@vniizbk.orel.ru

Рубец Валентина Сергеевна, д-р биол. наук, профессор, профессор кафедры генетики, селекции и семеноводства РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева; 127550, Российская Федерация, г. Москва, ул. Тимирязевская, 49; тел.: (499) 976–12–72; e-mail: Valentina.rubets50@gmail.com

Пыльнев Владимир Валентинович, д.б.н., профессор, заведующий кафедрой кафедры генетики, селекции и семеноводства РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева (127550, г. Москва, ул. Тимирязевская, 49, тел.: (499) 976–12–72, e-mail: PYL8@yandex.ru)

Игонин Владимир Николаевич, канд. с.-х. наук, доцент кафедры генетики, селекции и семеноводства РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева; 127550, Российская Федерация, г. Москва, ул. Тимирязевская, 49; тел.: (499) 976–12–72; e-mail: selection@rgau-msha.ru

Ворончихин Виктор Викторович, канд. с.-х. наук, научный сотрудник отдела отдаленной гибридизации ГБС РАН; 127550, Российская Федерация, г. Москва, ул. Ботаническая 4; тел.: (999) 823–06–91; e-mail: vitya.voronchihin@gmail.com

Груздев Иван Викторович, канд. биол. наук, научный сотрудник лаборатории маркерной и геномной селекции растений, ФГБНУ «Всероссийский

научно-исследовательский институт сельскохозяйственной биотехнологии», научный сотрудник отдела отдаленной гибридизации ГБС РАН; 127550, Российская Федерация, г. Москва, ул. Тимирязевская, 42; тел.: (903) 237–59–91; e-mail: gruzdev82mtz@mail.ru

Irina N. Voronchikhina, PhD (Bio), Research Associate of the Department of Remote Hybridization, N.V. Tsitsin's Main Botanical Garden of the Russian Academy of Sciences (4 Botanicheskaya Str., Moscow, 127276, Russian Federation; phone: (499) 823–06–91; E-mail: yarinkapanfilova@gmail.com)

Vladimir S. Sidorenko, PhD (Ag), Deputy Director for Breeding, Federal Scientific Center for Legumes and Cereals (10 Molodezhnaya Str., Streletski village, Oryol district, Oryol region, 302502, Russian Federation; E-mail: office@vniizbk.orel.ru)

Valentina S. Rubets, DSc (Bio), Professor, Professor of the Department of Genetics, Plant Breeding and Seed Production, Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy (49 Timiryazevskaya Str., Moscow, 127434, Russian Federation; phone: (499) 976–12–72; E-mail: Valentina.rubets50@gmail.com)

Vladimir V. Pylnev, DSc (Bio), Professor, Head of the Department of Genetics, Plant Breeding and Seed Production, Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy (49 Timiryazevskaya Str., Moscow, 127434, Russian Federation; phone: (499) 976–12–72; E-mail: PYL8@yandex.ru)

Vladimir N. Igonin, PhD (Ag), Associate Professor of the Department of Genetics, Plant Breeding and Seed Production, Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy (49 Timiryazevskaya Str., Moscow, 127434, Russian Federation; phone: (499) 976–12–72; E-mail: selection@rgau-msha.ru)

Viktor V. Voronchikhin, PhD (Ag), Research Associate of the Department of Remote Hybridization, N.V. Tsitsin's Main Botanical Garden of the Russian Academy of Sciences (4 Botanicheskaya Str., Moscow, 127276, Russian Federation; phone: (999) 823–06–91; E-mail: vitya.voronchihin@gmail.com)

Ivan V. Gruzdev, PhD (Bio), Research Associate of the Laboratory of Marker-Assisted and Genomic Selection of Plants, All-Russia Research Institute of Agricultural Biotechnology; Research Associate of the Department of Remote Hybridization, N.V. 's Main Botanical Garden of the Russian Academy of Sciences (42 Timiryazevskaya Str., Moscow, 127434, Russian Federation; phone: (903) 237–59–91; E-mail: gruzdev82mtz@mail.ru)