



НАУЧНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ И УПРАВЛЕНИЕ АГРОПРОМЫШЛЕННЫМ КОМПЛЕКСОМ

Научная статья

УДК 633.111.1:631.526.322

doi: 10.55186/25876740_2025_68_6_788

СЕЛЕКЦИОННАЯ ОЦЕНКА КОЛЛЕКЦИИ ЭНДЕМИЧНЫХ ВИДОВ ПШЕНИЦЫ *TRITICUM AETHIOPICUM* JAKUBZ И *TRITICUM CARTHPLICUM* NEVSKI КАК ИСХОДНОГО МАТЕРИАЛА ДЛЯ РАСШИРЕНИЯ ГЕНОФОНДА ПШЕНИЦЫ МЯГКОЙ ЯРОВОЙ

В.С. Рубец^{1,2}, И.Н. Ворончихина¹

¹Главный ботанический сад имени Н.В. Цицина Российской Академии Наук,

Москва, Россия

²Всероссийский научно-исследовательский институт сельскохозяйственной
биотехнологии, Москва, Россия

Аннотация. Проведено изучение урожайности, качества зерна, устойчивости к абиотическим и биотическим факторам среди коллекции малораспространенных видов пшеницы — пшеницы эфиопской (эндемик Эфиопии) и персидской (карталинской) (эндемик Грузии) в условиях рискованного земледелия Центрального района Нечерноземной зоны. Показано, что в средней полосе России образцы пшеницы эфиопской созревают на 4-9 суток, а пшеницы персидской — на 5-15 суток позднее стандарта — сорта пшеницы мягкой Злата. Возможно, это обусловлено чувствительностью к нехарактерному для этих видов фотoperиоду. Все образцы пшеницы эфиопской характеризовались низкорослостью и устойчивостью к полеганию, тогда как образцы пшеницы персидской различались как по высоте, так и по устойчивости к полеганию. Выделены образцы с высокой устойчивостью (№ 8, 10, 11 и 12). Обнаружены образцы пшеницы эфиопской, среднеустойчивые к мучнистой росе (№ 12 и 14) и иммунные к бурой ржавчине (№ 16), и образцы пшеницы персидской с комплексным иммунитетом к бурой ржавчине и мучнистой росе (№ 8, 11 и 12) и комплексной устойчивостью к бурой ржавчине, мучнистой росе и септориозу (№ 3 и 5). Их можно использовать при создании сортов мягкой пшеницы, устойчивых к листовой ржавчине, мучнистой росе и септориозу в Центральном районе Нечерноземной зоны России. Выделены относительно урожайные образцы пшеницы эфиопской (№ 12, 14, 15 и 17) и пшеницы персидской (№ 2, 7, 11 и 12). Для использования в селекционном процессе лучше брать образцы с максимальной урожайностью, предполагая меньшее негативное влияние на гибридный материал. Морфологическим маркером высокой урожайности пшеницы эфиопской может служить масса зерна с растения, у пшеницы персидской — число и масса зерен с колоса. Зерно пшеницы эфиопской характеризовалось различной окраской, в т.ч. фиолетовой, высокой крупностью, стекловидностью, низкой натуруй, высоким содержанием белка и клейковины, сильным предуборочным прорастанием в колосе. Для краснозерных форм отмечен несколько меньший процент проросших зерен в сравнении с белозерными и фиолетовозерными. Зерно пшеницы персидской отличалось низкой массой, высокой стекловидностью и натуруй, высоким содержанием белка и клейковины, низким предуборочным прорастанием независимо от окраски зерна.

Ключевые слова: эндемичные виды, пшеница карталинская, пшеница эфиопская, устойчивость к грибным болезням, устойчивость к предуборочному прорастанию зерна в колосе, урожайность, содержание белка

Благодарности: Работа выполнена в рамках Госзадания ГБС РАН «Гибридизация у растений в природе и культуре: фундаментальные и прикладные аспекты» (№ 122042500074-5).

Original article

BREEDING EVALUATION OF THE COLLECTION OF ENDEMIC WHEAT SPECIES *TRITICUM AETHIOPICUM* JAKUBZ AND *TRITICUM CARTHPLICUM* NEVSKI AS A SOURCE MATERIAL FOR EXPANSION OF THE GENE POOL OF SOFT SPRING WHEAT

V.S. Rubets^{1,2}, I.N. Voronchikhina¹

¹The Main Botanical Garden named after N.In. Tsitsin of Russian Academy of Sciences,
Moscow, Russia

²All-Russia Research Institute of Agricultural Biotechnology, Moscow, Russia

Abstract. The study of the yield, grain quality, resistance to abiotic and biotic environmental factors of a collection of rare wheat species — Ethiopian wheat (endemic to Ethiopia) and Persian (Kartala) (endemic to Georgia) under risky farming conditions of the Central Region of the Non-Black Earth Zone was conducted. It is shown that in the central zone of Russia, Ethiopian wheat samples ripen 4-9 days later, and Persian wheat — 5-15 days later than the standard — the soft wheat variety Zlata. Perhaps this is due to sensitivity to a photoperiod uncharacteristic for these species. All Ethiopian wheat samples were characterized by dwarfism and lodging resistance, while Persian wheat samples differed in both height and lodging resistance. Samples with high resistance (No. 8, 10, 11 and 12) were selected. Ethiopian wheat accessions with moderate resistance to powdery mildew (No. 12 and 14) and immunity to leaf rust (No. 16) and Persian wheat accessions with complex immunity to leaf rust and powdery mildew (No. 8, 11 and 12) and complex resistance to leaf rust, powdery mildew and septoria (No. 3 and 5) were found. They can be used to create varieties of soft wheat resistant to leaf rust, powdery mildew and septoria in the Central Region of the Non-Black Earth Zone of Russia. Relatively high-yielding accessions of Ethiopian wheat (No. 12, 14, 15 and 17) and Persian wheat (No. 2, 7, 11 and 12) were selected. For use in the breeding process, it is better to take accessions with the maximum yield, assuming less negative impact on the hybrid material. The morphological marker of high yield of Ethiopian wheat can be the weight of grain per plant, for Persian wheat — the number and weight of grains per ear. Grain of Ethiopian wheat was characterized by different colors, including purple, large size, vitreousness, low naturalness, high content of protein and gluten, strong pre-harvest germination in



the ear. For red-grained forms, a slightly lower percentage of germinated grains was noted in comparison with white-grained and violet-grained. Grain of Persian wheat was distinguished by low weight, high vitreousness and naturalness, high content of protein and gluten, low pre-harvest germination regardless of grain color.

Keywords: endemic species, Kartala wheat, Ethiopian wheat, resistance to fungal diseases, resistance to pre-harvest grain germination in the ear, yields, protein content

Acknowledgments: The work was carried out within the framework of the State Assignment of the Main Botanical Garden of the Russian Academy of Sciences Hybridization in Plants in Nature and Culture: Fundamental and Applied Aspects (No. 122042500074-5).

Введение. Для увеличения генетического разнообразия пшеницы мягкой большой интерес представляют другие виды пшеницы, обладающие комплексом уникальных признаков и свойств, в частности, малораспространенные: пшеница эфиопская *Triticum aethiopicum* Jakubz и пшеница карталинская (синоним Персидская) *Triticum carthlicum* Nevski. (=*Triticum persicum* Vav.). Это тетраплоидные виды ($2n=28$) с геномом VBA^A^u .

Эндемик Эфиопии — пшеница эфиопская до сих пор возделывается в Эфиопии в горных местностях в смесях с другими видами [18], а также встречается в южной части Аравийского полуострова, в Омане и Египте [1, 8]. Этот вид характеризуется большим полиморфизмом, сходным по морфологическим признакам с другими тетраплоидными видами пшеницы — *T. durum* Desf., *T. persicum* Vav., *T. turgidum* L. [3, 8]. Встречаются только яровые низкорослые формы со слабыми тонкими стеблями. Для вида характерны раннеспелость, низкая урожайность, высокое содержание белка в зерне, сильное предуборочное прорастание зерна в колосе. Она является уникальным донором генов фиолетовой окраски зерна [20], что в последние годы привлекло большой интерес в связи с созданием сортов зерновых культур с повышенным содержанием антиоксидантов [13] для специального направления функционального питания [10]. Показано, что повышенное содержание антиоксидантов в пище благоприятно для профилактики разнообразных заболеваний, улучшения зрения

и памяти [22-24]. В Государственный реестр селекционных достижений уже включены фиолетовозерные сорта пшеницы мягкой Надира и Памяти Коновалова [4, 5, 7, 20]. Все это обуславливает интерес к данному виду как с теоретической точки зрения [1, 16], так и с практической [18, 19, 21].

Пшеница персидская также является малоизвестным эндемичным для Грузии видом, возделываемым в чистых посевах под именем «дика». Ее посевы также встречаются в Северном Иране. Эта пшеница морфологически сходна с остистой пшеницей мягкой, но уступает ей по урожайности. Характеризуется высокой устойчивостью к грибным болезням и предуборочному прорастанию зерна в колосе [8]. Она несет уникальный среди тетраплоидных видов пшеницы ген голозерности *Q* [8, 15], аналогичный пшенице мягкой, а также аллели генов, регулирующих покой семян, *SdrA1a* и *SdrB1a*, ассоциированных с более глубоким покоем [17]. Достоинством этого вида является легкая скрещиваемость с пшеницей мягкой с образованием вполне fertильных гибридов F_1 . Однако хлебопекарные качества оставляют желать лучшего. В настоящее время интерес исследователей обратился к этому виду как донору генов устойчивости к болезням и предуборочному прорастанию зерна в колосе. Так, сорта Омская 36, Геракл, Памяти Майстренко и Сигма были получены с опосредованным участием этого вида [15].

Использование данных видов для расширения генетического разнообразия пшеницы

мягкой в Средней полосе России предполагает знание проявления их характеристик в нетипичных для них условиях. Это обусловило **цель** данной работы: изучить коллекцию пшеницы карталинской и эфиопской в условиях избыточного увлажнения ЦРНЗ по продолжительности вегетационного периода, устойчивости к болезням, продуктивности и качеству зерна.

Материал, методы и условия проведения исследований. Материалом для исследования послужили образцы тетраплоидных видов пшеницы с геномом VBA^A^u — пшеница эфиопская *Triticum aethiopicum* Jakubz. и пшеница карталинская (синоним П. персидская) *Triticum carthlicum* Nevski. (=*Triticum persicum* Vav.), полученные из Института общей генетики им. Н.И. Вавилова от Бадаевой Е.Д. (табл. 1).

Образцы пшеницы эфиопской представляют собой оригинальные сборы специального отряда Совместной российско-эфиопской биологической экспедиции (Joint Ethio-Russian Biological Expedition — JERBE), состоявшейся в 2012 г. [1, 16]. Для сравнения использовали сорт пшеницы мягкой Злата местной селекции (ФИЦ «Немчиновка»). Образцы пшеницы были высажены в 2021 г. в двух повторениях с площадью делянки 1 m^2 . В полевых условиях были проведены фенологические наблюдения, оценка устойчивости к полеганию по 5-балльной шкале, где 5 баллов соответствовало высокой устойчивости, 1 балл — полеганию, и грибным болезням по 9-балльной шкале, где 9 баллов соответствовало иммунитету, 7 — высокой устойчивости, 1 — полной восприимчивости.

Таблица 1. Перечень исследованных образцов эндемичных видов пшеницы
Table 1. List of studied samples of endemic wheat species

Название образца	Шифр	Разновидность
<i>T. aestivum</i> L. Злата (стандарт)	—	<i>lutescens</i>
Пшеница эфиопская		
<i>T. aethiopicum</i> № 11	28a-7480 (Амхара)*	<i>albiviolaceum</i>
<i>T. aethiopicum</i> № 12	47a-7610 (Амхара)	<i>pseudoschimperi</i>
<i>T. aethiopicum</i> № 13	506-7655 (Оромия)	<i>harraricum</i>
<i>T. aethiopicum</i> № 14	49a-7634 (Оромия)	<i>purpureum</i>
<i>T. aethiopicum</i> № 15	406-7567 (Амхара)	<i>rufescens</i>
<i>T. aethiopicum</i> № 16	586-7719 (Амхара)	<i>brownii</i>
<i>T. aethiopicum</i> № 17	21a-7417 (Амхара)	<i>nigrimarginatum</i>
<i>T. aethiopicum</i> № 18	426-7589 (Амхара)	<i>pseudorubescens</i>
Пшеница персидская (кардальская)		
<i>T. persicum</i> № 1	к-13382 (Ю. Осетия)	<i>rubiginosum</i>
<i>T. persicum</i> № 2	к-13989 (Армения)	<i>rubiginosum</i>
<i>T. persicum</i> № 3	к-13768 (Армения)	<i>fuliginosum</i>
<i>T. persicum</i> № 4	к-1694 (Грузия)	<i>fuliginosum</i>
<i>T. persicum</i> № 5	к-26828 (Дагестан)	<i>fuliginosum</i>
<i>T. persicum</i> № 6	к-13938 (?)	<i>osseticum</i>
<i>T. persicum</i> № 7	к-7106 (Грузия)	<i>fuliginosum</i>
<i>T. persicum</i> № 8	к-6429 (Грузия)	<i>stramineum</i>
<i>T. persicum</i> № 9	к-47794 (Ленинградская область)	<i>stramineum</i>
<i>T. persicum</i> № 10	к-27494 (Сев. Осетия)	<i>osseticum</i>
<i>T. persicum</i> № 11	к-49456 (Канада)	<i>stramineum</i>
<i>T. persicum</i> № 12	к-19726 (Грузия)	<i>fuliginosum</i>

* Сохранен оригинальный шифр, присвоенный образцам при сборе в экспедициях Гончарова Н.П.





После уборки, проведенной вручную, оценивали физические свойства зерна — натуру микрометодом, стекловидность на электронном диафанскопе «Янтарь — блик» и массу 1000 семян ускоренным методом, процент проросших зерен (ППЗ) — по результатам подсчета явно проросших зерен в выборке не менее 500 шт. Полученные результаты обрабатывали при помощи однофакторного дисперсионного анализа и корреляционного анализа [9].

Работа проведена в 2021 г., в котором первая половина вегетации (до цветения) характеризовалась наличием большого количества осадков при среднесуточной температуре, незначительно превышающей среднемноголетние значения (табл. 2). Периоды формирования и налива зерна проходили в условиях жесткой засухи при высоких среднесуточных температурах. Такие условия не способствовали формированию высокой урожайности изученных видов пшеницы.

Результаты и обсуждение. В 2021 году погодные условия во второй половине вегетации (после цветения) способствовали ускорению созревания. Растения пшеницы вследствие засухи и высокой среднесуточной температуры, усохли на корню. Поэтому продолжительность межфазного периода от колошения до полной спелости оказалась небольшой, что в целом сократило период вегетации всех изученных образцов пшеницы (табл. 3).

Межфазный период от всходов до колошения у стандарта Злата составил 32 суток. У обоих тетраплоидных видов этот период был более продолжительным. У образцов пшеницы эфиопской он составил 34–38 суток, у пшеницы персидской — 35–45 суток. Позднее всех в фазу колошения вступили образцы пшеницы персидской № 3 и 5 — через 42 сут после появления всходов, № 6 и 8 — через 40 сут и № 11 — через 45 суток. Межфазный период от колошения до полной спелости у стандарта составил 32 суток. У пшеницы эфиопской он оказался на 1–6 суток больше. В целом продолжительность вегетационного периода у сорта Злата составил 64 дня. Ни один из образцов тетраплоидных пшениц не достиг такого результата. При этом пшеница эфиопская считается раннеспелым видом. Однако в условиях средней полосы России продолжительность ее вегетационного периода составила 68–73 дня, что больше стандарта на 4–9 суток. Наиболее позднеспелые образцы выявлены среди образцов пшеницы персидской — № 3, 5 и 11 (превышение над стандартом составило 14–15 сут).

Таким образом, изученные образцы пшеницы эфиопской и персидской более позднеспелы относительно стандарта — раннеспелого сорта Злата. Возможно, здесь имеет место чувствительность к фотопериоду — в местах возникновения этих видов короткая длина светового дня. Продолжительность периода вегетации пшеницы персидской больше, чем эфиопской.

Высота всех образцов пшеницы эфиопской оказалась меньше, чем у стандарта Злата (табл. 4). В 2021 г. все они продемонстрировали высокую устойчивость к полеганию.

Образцы пшеницы персидской были сравнины по высоте со стандартом, а некоторые (№ 3, 5, 6, 8, 10 и 11) даже превысили его на 15–5 см. Они были сильно дифференцированы по этому показателю. Сильно полегли образцы № 1, 2, 7 и 9. Признаков полегания не было отмечено у № 8, 10, 11 и 12.

Наибольший интерес для селекции представляет устойчивость исходного материала к актуальным для региона болезням. Для пшеницы мягкой в средней полосе России наибольшую актуальность представляют такие грибные патогены, как листовая (бурая) ржавчина (*Puccinia triticina* Erikss.) и мучнистая роса (*Blumeria graminis* DC) [6, 14]. В 2021 году сложились погодные условия, благоприятные для проявления септориоза (*Septoria tritici* Blotch.), что позволило провести оценку устойчивости к болезни образцов пшеницы на естественном инфекционном фоне.

Стандарт Злата характеризовался средней степенью устойчивости ко всем вышеназванным болезням (табл. 4). Образцы пшеницы эфиопской существенно различались по устойчивости к бурой ржавчине. Полную восприимчивость показали № 11, 13, 16 и 17, высокую устойчивость — № 12, 14, 15 и 18. Пшеница персидская в целом показала более высокие результаты. Только образцы № 2, 4 и 7 были охарактеризованы как среднеустойчивые (5 баллов). Остальные показали высокую устойчивость (№ 1, 3, 5, 6) либо иммунитет (№ 8–12). По устойчивости к мучнистой росе пшеницы эфиопской только образец № 16 показал невосприимчивость к болезни (9 баллов), № 12 и 14 — среднюю устойчивость (5 баллов), остальные — полную восприимчивость (1 балл). У пшеницы персидской только образцы № 1, 2 и 6 оказались восприимчивыми к болезни, № 9 и 10 — среднеустойчивыми (5 баллов), остальные показали иммунитет. У всех изученных образцов пшеницы наблюдали признаки поражения септориозом. Из образцов пшеницы эфиопской среднеустойчивым

Таблица 3. Продолжительность периода вегетации образцов эндемичных видов пшеницы, 2021 г.
Table 3. Duration of the growing season of endemic wheat species, 2021

Название образца	Продолжительность межфазных периодов, сут		Продолжительность вегетационного периода, сут
	всходы — колошение	колошение — полная спелость	
Пшеница эфиопская			
<i>T. aestivum</i> Злата (ст)	32	32	64
<i>T. aethiopicum</i> № 11	35	33	68
<i>T. aethiopicum</i> № 12	36	33	69
<i>T. aethiopicum</i> № 13	35	35	70
<i>T. aethiopicum</i> № 14	38	37	75
<i>T. aethiopicum</i> № 15	36	35	71
<i>T. aethiopicum</i> № 16	34	37	71
<i>T. aethiopicum</i> № 17	36	37	73
<i>T. aethiopicum</i> № 18	35	38	73
Пшеница персидская (карталинская)			
<i>T. aestivum</i> Злата (ст)	32	32	64
<i>T. persicum</i> № 1	38	31	69
<i>T. persicum</i> № 2	35	34	69
<i>T. persicum</i> № 3	42	36	78
<i>T. persicum</i> № 4	39	32	71
<i>T. persicum</i> № 5	42	36	78
<i>T. persicum</i> № 6	40	35	75
<i>T. persicum</i> № 7	39	31	70
<i>T. persicum</i> № 8	40	35	75
<i>T. persicum</i> № 9	37	35	72
<i>T. persicum</i> № 10	37	37	74
<i>T. persicum</i> № 11	45	34	79
<i>T. persicum</i> № 12	36	33	69

Таблица 4. Устойчивость к полеганию и листовым болезням образцов эндемичных видов пшеницы
Table 4. Resistance to lodging and leaf diseases of endemic wheat species

Название образца	Высота, см	Устойчивость, балл			
		к полеганию	к листовой ржавчине	к мучнистой росе	к септориозу
Пшеница эфиопская					
<i>T. aestivum</i> Злата (стандарт)	95	5	5	5	5
<i>T. aethiopicum</i> № 11	75	5	1	1	1
<i>T. aethiopicum</i> № 12	70	5	7	5	1
<i>T. aethiopicum</i> № 13	65	5	1	1	1
<i>T. aethiopicum</i> № 14	65	5	7	5	3
<i>T. aethiopicum</i> № 15	55	5	7	1	1
<i>T. aethiopicum</i> № 16	65	5	1	9	3
<i>T. aethiopicum</i> № 17	60	5	1	1	5
<i>T. aethiopicum</i> № 18	65	5	7	1	3
Пшеница персидская (карталинская)					
<i>T. aestivum</i> Злата (стандарт)	95	5	5	5	5
<i>T. persicum</i> № 1	70	2	7	1	1
<i>T. persicum</i> № 2	70	3	5	3	1
<i>T. persicum</i> № 3	100	4	7	9	7
<i>T. persicum</i> № 4	95	4	5	9	5
<i>T. persicum</i> № 5	105	4	7	9	7
<i>T. persicum</i> № 6	110	4	7	3	7
<i>T. persicum</i> № 7	90	1	5	9	3
<i>T. persicum</i> № 8	105	5	9	9	5
<i>T. persicum</i> № 9	80	2	9	5	3
<i>T. persicum</i> № 10	85	5	9	5	7
<i>T. persicum</i> № 11	105	5	9	9	5
<i>T. persicum</i> № 12	85	5	9	9	1



оказался только № 17 (5 баллов). У пшеницы персидской высокую устойчивость продемонстрировали образцы № 3, 5, 6 и 10 (7 баллов), что очень ценно, поскольку генетика устойчивости к этой болезни недостаточно изучена. К тому же болезнь проявляется не во все годы, поэтому трудно объективно оценить исходный материал [12].

В целом можно констатировать превосходство пшеницы персидской по устойчивости ко всем болезням. У пшеницы эфиопской выделяны среднеустойчивые к мучнистой росе образцы № 12 и 14, и иммунный к бурой ржавчине образец № 16. Не выявлены формы, устойчивые к септориозу. У пшеницы персидской выявлены образцы № 8, 11 и 12, иммунные к листовой ржавчине и мучнистой росе, и № 3 и 5 с комплексной устойчивостью ко всем трем болезням. Их можно использовать при создании сортов мягкой пшеницы, устойчивых к листовой ржавчине, мучнистой росе и септориозу в Центральном районе Нечерноземной зоны России.

Пшеница эфиопская характеризуется низкой урожайностью зерна, что и проявилось в полной мере в данном опыте (табл. 5). Она оказалась в 4-7 раз ниже стандарта. Наиболее урожайными относительно других образцов были № 12, 14, 15 и 17 (их урожайность составила 23,0; 23,2; 22,1; 27,5% от стандарта соответственно). Среди образцов пшеницы персидской выделялись достаточно урожайные для тетраплоидов — № 2,

7, 11 и 12 (их урожайность составила 56,6; 53,3; 59,6; 60,3% от стандарта соответственно). Урожайность остальных образцов не превышала 50% от стандарта. Для использования в селекционном процессе лучше брать образцы с максимальной урожайностью, предполагая меньшее негативное влияние на гибридный материал.

Основные элементы структуры урожая — число и масса зерен с колоса и с растения у обоих тетрапloidных видов были достоверно ниже, чем у стандарта. У пшеницы эфиопской относительно высокие значения были у образцов № 13, 15 — 18. Корреляционный анализ показал наличие сильной связи между урожайностью и массой зерна с колоса ($r=0,813^*$). Наиболее высокие значения показателей пшеницы персидской были у № 4, 7, 9, 11 и 12. Значимо связаны с урожайностью как число зерен с колоса и растения, так и масса зерен с растения (табл. 5). Таким образом, у пшеницы персидской, как и у пшеницы мягкой, число и масса зерен с колоса и с растения являются морфологическими маркерами для отбора наиболее продуктивных форм.

Стандарт Злата в 2021 году сформировал крупное стекловидное зерно со средним значением натуры, высоким содержанием белка и клейковины (табл. 6).

Большинство образцов пшеницы эфиопской характеризовались крупным стекловидным зерном с низкой натурай, высоким содержанием белка и клейковины. Это согласуется с резуль-

татами исследований качества зерна эфиопской пшеницы, проведенными в различных условиях возделывания [8, 19]. Пшеница персидская сформировала мелкое высокостекловидное зерно с высокими значениями натуры, у отдельных образцов превосходящими стандарт. Содержание белка и клейковины также было высоким, что, вероятно, связано с недостаточной выполнимостью эндосперма вследствие засухи и высокой температуры в период налива и созревания. В местах исторического возделывания эта пшеница также характеризуется высокими значениями показателей качества зерна [8, 17].

Очень важным показателем качества зерна является процент проросших зерен, максимальное содержание которых не должно превышать 3% [11]. У стандарта было обнаружено 2% проросших зерен. Все образцы пшеницы эфиопской показали сильную склонность к предуборочному прорастанию зерна в колосе, превысив по значению процента проросших зерен (ППЗ) стандарт в 10 раз. Известно, что зерно пшеницы мягкой с красной окраской зерна более устойчиво к предуборочному прорастанию. Образцы пшеницы эфиопской различались по окраске зерна. Так, № 11, 12, 14 и 17 имели фиолетовую окраску, № 13 и 15 — красную и № 16 и 18 — белую (рис. 1).

Из всех образцов наименьшее ППЗ (16% и 18%) выявлено у образцов с красным зерном № 15 и 13. Образцы с фиолетовым и белым зерном проросли примерно одинаково. Возможно, это связано с отсутствием у белозерных и фиолетовозерных форм слоя красного пигмента в семенной кожуре. Наши исследования показали наличие яркой красной полоски внутри семенной кожуры у краснозерного сорта Злата и его отсутствие у белозерных и фиолетовозерных форм эфиопской пшеницы (рис. 2). Таким образом, у пшеницы эфиопской также наблюдается некоторое различие по устойчивости к предуборочному прорастанию зерна в колосе в зависимости от окраски зерна — краснозерные формы прорастают меньше.

У пшеницы персидской преобладающей окраской зерна является красная. Среди изученных образцов только № 6 и 10 имели белую окраску. Тем не менее, у всех образцов, независимо от окраски зерна, выявлен очень низкий процент проросших зерен — от 0 до 3 (табл. 6). Пшеница персидская считается устойчивой к предуборочному прорастанию зерна в колосе, поскольку исторически сформировалась в высокогорных условиях Грузии [8, 17].

Изучение аллельного состава генов *SdrA1* и *SdrB1*, ассоциированных с поколем семян показало, что у пшеницы эфиопской имеются аллели *SdrA1b* и *SdrB1b*, ассоциированные с коротким поколением семян и, соответственно, неустойчивостью к прорастанию на корню, тогда как у пшеницы персидской — другой вариант аллелей *SdrA1a* и *SdrB1a*, связанных с продолжительным поколением семян [2]. Показано также, что пшеница персидская обладает уникальными формами фермента β -амилазы, отличными от пшеницы мягкой. Преобладающим типом этого фермента является Н-форма, тогда как для мягкой пшеницы характерны С и С+I [15]. Возможно, эта форма β -амилазы менее активно разрушает крахмал, что способствует устойчивости к предуборочному прорастанию зерна пшеницы персидской.

Таким образом, в качестве исходного материала для селекции яровой пшеницы более подходит пшеница персидская.

Таблица 5. Показатели продуктивности и ее элементов эндемичных видов пшеницы
Table 5. Productivity indicators and its elements of endemic wheat species

Название образца	Масса зерна с делянки,		Число зерен, шт.		Масса зерен, г	
	г/м ²	процент от стандарта	с колоса	с растения	с колоса	с растения
Пшеница эфиопская						
<i>T. aestivum</i> Злата (стандарт)	434,0	—	24,1	28,9	0,87	1,04
<i>T. aethiopicum</i> № 11	57,6	13,3	9,6	12,8	0,39	0,50
<i>T. aethiopicum</i> № 12	99,7	23,0	8,6	12,7	0,34	0,50
<i>T. aethiopicum</i> № 13	69,2	15,9	8,9	17,1	0,31	0,60
<i>T. aethiopicum</i> № 14	100,7	23,2	9,9	13,8	0,35	0,49
<i>T. aethiopicum</i> № 15	96,2	22,1	12,8	20,4	0,41	0,66
<i>T. aethiopicum</i> № 16	73,8	17,0	9,4	18,6	0,39	0,77
<i>T. aethiopicum</i> № 17	119,2	27,5	12,4	18,7	0,45	0,68
<i>T. aethiopicum</i> № 18	70,2	16,2	13,8	18,7	0,47	0,64
HCP ₀₅	37,1	—	2,3	6,4	0,10	0,35
Коэффициент корреляции с массой зерна с делянки	—	—	0,227	0,125	0,813*	0,030
Пшеница персидская (карталинская)						
<i>T. aestivum</i> Злата (стандарт)	434,0	—	24,1	28,9	0,87	1,87
<i>T. persicum</i> № 1	187,7	43,2	14,2	19,9	0,35	0,49
<i>T. persicum</i> № 2	245,8	56,6	13,0	22,4	0,38	0,67
<i>T. persicum</i> № 3	187,2	43,1	13,3	17,5	0,42	0,56
<i>T. persicum</i> № 4	181,6	41,8	17,1	23,5	0,49	0,67
<i>T. persicum</i> № 5	208,7	47,8	14,3	19,3	0,47	0,64
<i>T. persicum</i> № 6	121,0	27,9	10,7	12,8	0,31	0,37
<i>T. persicum</i> № 7	231,4	53,3	16,1	24,5	0,45	0,69
<i>T. persicum</i> № 8	186,5	43,0	14,8	17,5	0,38	0,45
<i>T. persicum</i> № 9	201,5	46,4	16,8	25,5	0,48	0,74
<i>T. persicum</i> № 10	100,6	23,2	9,5	11,9	0,29	0,37
<i>T. persicum</i> № 11	258,8	59,6	18,0	21,2	0,50	0,58
<i>T. persicum</i> № 12	261,7	60,3	20,0	29	0,54	0,78
HCP ₀₅	40,8	—	3,2	4,5	0,08	0,14
Коэффициент корреляции с массой зерна с делянки	—	—	0,788**	0,820**	0,456	0,790*



Таблица 6. Показатели качества зерна эндемичных видов пшеницы
Table 6. Grain quality indicators of endemic wheat species

Название образца	Физические свойства зерна			Процент проросших зерен	Содержание в зерне, %	
	Масса 1000 семян, г	Натура, г/л	Стекловидность, %		белка	клейковины
Пшеница эфиопская						
<i>T. aestivum</i> Злата (st)	36,1	769	96,0	2,0	14,9	27,3
<i>T. aethiopicum</i> № 11	40,4	695,0	71,0	21,0	17,6	35,2
<i>T. aethiopicum</i> № 12	39,4	702,5	52,5	22,0	16,5	31,6
<i>T. aethiopicum</i> № 13	35,3	714,0	96,0	18,5	16,6	32,2
<i>T. aethiopicum</i> № 14	35,3	726,5	74,0	19,5	17,2	34,5
<i>T. aethiopicum</i> № 15	32,3	761,5	87,8	16,0	13,2	24,9
<i>T. aethiopicum</i> № 16	41,6	706,5	88,0	21,0	17,0	32,3
<i>T. aethiopicum</i> № 17	36,5	662,5	55,5	19,5	16,7	32,0
<i>T. aethiopicum</i> № 18	34,6	674,0	93,8	21,5	16,2	31,9
HCP ₀₅	4,0	27,0	3,4	4,5	0,5	1,8
Пшеница персидская (карталинская)						
<i>T. aestivum</i> Злата (st)	36,1	769	96,0	2,0	14,9	27,3
<i>T. persicum</i> № 1	24,6	763,3	99,3	1,0	14,4	26,3
<i>T. persicum</i> № 2	29,5	791,3	99,8	1,5	14,3	26,4
<i>T. persicum</i> № 3	32,0	755,0	99,0	2,5	9,3	20,8
<i>T. persicum</i> № 4	28,5	732,5	99,3	3,0	18,2	34,8
<i>T. persicum</i> № 5	33,1	752,5	99,3	1,5	19,4	38,5
<i>T. persicum</i> № 6	29,2	762,5	100,0	0,0	18,9	39,1
<i>T. persicum</i> № 7	28,1	757,5	98,5	0,0	17,3	34,4
<i>T. persicum</i> № 8	25,7	771,3	99,8	0,5	18,0	35,9
<i>T. persicum</i> № 9	28,8	805,0	99,8	0,5	16,7	32,3
<i>T. persicum</i> № 10	31,0	746,3	99,0	0,5	20,1	41,3
<i>T. persicum</i> № 11	27,8	771,3	100,0	2,0	16,8	33,1
<i>T. persicum</i> № 12	27,1	780,0	100,0	1,5	16,3	30,9
HCP ₀₅	3,1	20,0	0,7	2,0	1,0	2,0



Рисунок 1. Окраска зерна у образцов пшеницы эфиопской
Figure 1. Grain coloration of Ethiopian wheat samples

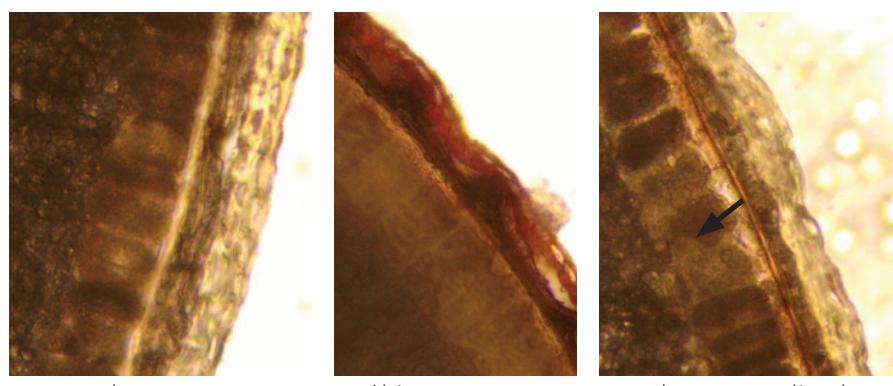


Рисунок 2. Наличие антоцианового слоя в семенной кожуре пшеницы (черная стрелка): а) белозерной (отсутствие); б) фиолетовозерной (отсутствие); в) краснозерной (наличие) (фото оригинальное)
Figure 2. Presence of anthocyanin layer in the seed coat of wheat (black arrow): a) white-grained (absence); b) purple-grained (absence); c) red-grained (presence) (original photo)

Выводы.

1. В средней полосе России образцы пшеницы эфиопской созревают на 4-9 суток, а пшеницы персидской — на 5-15 суток позднее стандарта — сорта пшеницы мягкой Злата. Возможно, это обусловлено чувствительностью к нехарактерному для этих видов фотопериоду.

2. Все образцы пшеницы эфиопской характеризуются низкорослостью и устойчивостью к полеганию, тогда как образцы пшеницы персидской различались как по высоте, так и по устойчивости к полеганию. Высокая устойчивость выявлена у образцов № 8, 10, 11 и 12.

3. Образцы пшеницы эфиопской № 12 и 14 среднеустойчивы к мучнистой росе, образец № 16 показал иммунитет к бурой ржавчине. У образцов пшеницы персидской № 8, 11 и 12 выявлен иммунитет к бурой ржавчине и мучнистой росе, у образцов № 3 и 5 — комплексная устойчивость к бурой ржавчине, мучнистой росе и септориозу. Их можно использовать при создании сортов мягкой пшеницы, устойчивых к листовой ржавчине, мучнистой росе и септориозу в Центральном районе Нечерноземной зоны России.

1. Относительно урожайными были образцы пшеницы эфиопской № 12, 14, 15 и 17 (их урожайность составила 23,0%; 23,2%; 22,1%; 27,5% от стандарта соответственно) и образцы пшеницы персидской № 2, 7, 11 и 12 (их урожайность составила 56,6%; 53,3%; 59,6%; 60,3% от стандарта соответственно). Для использования в селекционном процессе лучше брать образцы с максимальной урожайностью, предполагая меньшее негативное влияние на гибридный материал. Морфологическим маркером высокой урожайности пшеницы эфиопской может служить масса зерна с растения, у пшеницы персидской — число и масса зерен с колоса.

2. Зерно пшеницы эфиопской характеризовалось высокой крупностью, стекловидностью, низкой натурой, высоким содержанием белка и клейковины, сильным предуборочным прорастанием в колосе. Для краснозерных форм отмечен несколько меньший процент проросших зерен в сравнении с белозерными и фиолетовозерными. Зерно пшеницы персидской отличалось низкой массой, высокой стекловидностью и натурой, высоким содержанием белка и клейковины, низким предуборочным прорастанием независимо от окраски зерна.

Список источников

- Бадаева Е.Д., Шишкина А.А., Гончаров Н.П. и др. Эволюция *Triticum aethiopicum* Jakubz с позиции хромосомного анализа // Генетика. 2018. Т. 54. № 6. С. 613-628. DOI: 10.7868/S0016675818060048.
- Баженов М.С., Гусева Е.Д., Рубец В.С. Полиморфизм генов *Sdr*, регулирующих покой семян у *Triticum persicum* Vav. и *Triticum aethiopicum* Jakubz // Вавиловский журнал генетики и селекции. 2019. Т. 23(8). С. 964-971. DOI: 10.18699/VJ19.573
- Вавилов Н.И., Фортунатова О.К., Якубинер М.М. и др. Пшеницы Абиссинии и их положение в общей системе пшениц (К познанию 28-хромосомной группы культурных пшениц) // Академик Н.И. Вавилов. Избранные труды. Т. III. М.; Л.: Изд-во АН СССР, 1962. С. 225-369.
- Василова Н.З., Асхадуллин Д.Ф., Багавиева Э.З. и др. Фиолетовозерный сорт яровой мягкой пшеницы Надира // Зернобобовые и крупяные культуры. 2021. № 4 (40). С. 66-75.
- Ворончихина И.Н., Сидоренко В.С., Рубец В.С. и др. Оценка качества зерна сортов яровой пшеницы с фиолетовой окраской зерна в условиях ЦРНЗ // Известия ТСХА. 2022. Вып. 6. С. 54-66. DOI: 10.26897/0021-342x-2022-6-54-66



6. Гульяева Е.И., Садовая А.С. Селекция мягкой пшеницы на устойчивость к бурой ржавчине в России // Защита и карантин растений. 2014. № 10. С. 24-26.

7. Государственный реестр сортов и гибридов сельскохозяйственных растений, допущенных использованию Т. 1 «Сорта растений» (официальное издание. Москва: ФГБНУ «Росинформагротех», 2024, 620 с.

8. Дорофеев В.Ф., Филатенко А.А., Мигушова Э.Ф. и др. Культурная флора СССР. Т. 1. Пшеница. Л.: Колos, 1979. 346 с.

9. Доспехов Б.Д. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований). М.: Альянс, 2014. 350 с.

10. Межгосударственный стандарт. ГОСТ 9353-90. Пшеница. Требования при заготовках и поставках, 1991. 10 с.

11. Национальный Стандарт Российской Федерации ГОСТ Р 52349 — 2005 Продукты пищевые. Продукты пищевые функциональные. Термины и определения. Москва: Стандартинформ, 2006. 17 с.

12. Пахолкова Е.В., Сальникова Н.Н., Куркова Н.А. Генетическая структура региональных популяций *Mycosphaerella graminicola* (*Septoria tritici*) — возбудителя септориоза пшеницы (*Triticum aestivum* L.) // Сельскохозяйственная биология. 2016. Т. 51. № 5. С. 722-730. DOI: 10.15389/agrobiology.2016.5.722rus.

13. 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.

14. Радченко Е.Е., Абдуллаев Р.А., Анисимова И.Н. Генетическое разнообразие зерновых культур по устойчивости к мучнистой росе // Экологическая генетика. 2020. Т. 18. № 1. С. 59-78.

15. Тоболова Г.В., Асташева Н.А. Создание исходного материала для селекции пшеницы методом отдаленной гибридизации в условиях Северного Зауралья // Аграрный вестник Урала. 2008. № 6(48). С. 36-37.

16. Trifonova, A.A., Dedova, L.V., Zuev, E.V., Goncharov, N.P., Kudryavtsev, A.M. (2021). Comparative analysis of the gene pool structure of *Triticum aethiopicum* wheat accessions conserved ex situ and re-collected in fields after 85 years. Biodiversity and Conservation, vol. 30, pp. 329-342.

17. Bedoshvilia, D., Mosulishvili, M., Chkhutashvili, G., Chokhelid, M., Ustiaishvili, N., Maisaia, I. (2020). Heritage wheats of Georgia. Annals of Agrarian Science, vol. 2, pp. 123-129.

18. Eticha, F., Belay, G., Bekele, E. (2006). Species Diversity in Wheat Landrace Populations from two Regions of Ethiopia. Genetic Resources and Crop Evolution, vol. 53, pp. 387-393.

19. Eticha, F., Grausgruber, H., Siebenhandl-Ehn, S. and Berghofer, E. (2011). Some Agronomic and Chemical Traits of Blue Aleurone and Purple Pericarp Wheat (*Triticum* L.). Journal of Agricultural Science and Technology, pp. 48-58.

20. Fisenko, A.V., Dragovich, A.Yu. (2023). On the Use of the Genetic Resources of Tetraploid Wheat *Triticum aethiopicum* for the Development of Purple-Grain Soft Wheat with a High Content of Anthocyanins. Russian Journal of Genetics, vol. 59, pp. 846-850.

21. Guo, Z., Zhang, Z., Xu, P. (2012). Analysis of nutrient composition of purple wheat. Cereal Res. Commun, vol. 41, № 2. pp. 293-303. DOI: 10.1556/crc.2012.0037.

22. He, J., Giusti, M.M. (2010). Anthocyanins: natural colorants with health-promoting properties. Ann. Rev. Food Sci. Technol, vol. 10, № 1, pp. 163-187. DOI: 10.1146/annurev.food.080708.100754.

23. Khoo, H.E., Lim, S.M., Azlan, A. (2019). Evidence-based therapeutic effects of anthocyanins from foods. Pak. J. Nutr, vol. 18, № 1, pp. 1-11. DOI: 10.3923/pjn.2019.1.11.

Информация об авторах:

Рубец Валентина Сергеевна, доктор биологических наук, профессор, ведущий научный сотрудник отдела отдаленной гибридизации, Главный ботанический сад имени Н.В. Цицина РАН; ведущий научный сотрудник, Всероссийский научно-исследовательский институт сельскохозяйственной биотехнологии, ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-1870-7242>, Valentina.rubets50@gmail.com

Ворончихина Ирина Николаевна, кандидат биологических наук, научный сотрудник отдела отдаленной гибридизации, Главный ботанический сад имени Н.В. Цицина РАН, ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-9569-2852>, yarinkapanfilova@gmail.com

Information about the authors:

Valentina S. Rubets, leading researcher in distant hybridization department, The Main Botanical Garden named after N.In. Tsitsin of Russian Academy of Sciences; leading researcher in All-Russia Research Institute of Agricultural Biotechnology, ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-1870-7242>, valentina.rubets50@gmail.com

Irina N. Voronchikhina, researcher in distant hybridization department, The Main Botanical Garden named after N.In. Tsitsin of Russian Academy of Sciences, ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-9569-2852>, yarinkapanfilova@gmail.com



ucts food. Functional food products. Terms and definitions], Moscow, Standartinform, 17 p.

12. Pakholkova, E.V., Salnikova, N.N., Kurkova, N.A. (2016). *Geneticheskaya struktura regional'nyh populacij Mycosphaerella graminicola (Septoria tritici) — vozбудителя septorioza pshenicy (Triticum aestivum L.)* [Genetic structure of regional populations of *Mycosphaerella graminicola (Septoria tritici)* — the causative agent of wheat septoria leaf spot (*Triticum aestivum L.*)]. *Se'skohozajstvennaya biologiya* [Agricultural Biology], vol. 51, no. 5, pp. 722-730. DOI: 10.15389/agrobiology.2016.5.722rus.

13. Polonsky, V.I., Loskutov, I.G. (2018). *Selekcija na soderzhanie antioksidantov v zerne kak perspektivnoe napravlenie dlya poluchenija produktov zdorovogo pitanija* [Breeding for antioxidant content in grain as a promising direction for obtaining healthy food products]. *Vavilovskij zhurnal genetiki i selekcii* [Vavilov Journal of Genetics and Breeding], vol. 23 (8), pp. 964-971. DOI: 10.18699/VJ19.57.

14. Radchenko, E.E., Abdullaev, R.A., Anisimova, I.N. Radchenko, E.E., Abdullaev, R.A., Anisimova, I.N. (2020). *Geneticheskoe raznoobrazie zernovyh kul'tur po ustoichivosti k muchnistoj rose* [Genetic diversity of grain crops for resistance to powdery mildew]. *Ekologicheskaya genetika* [Ecological Genetics], vol. 18, no. 1, pp. 59-78.

15. Tobolova, G.V., Astasheva, N.A. (2008). *Sozdanie iskhodnogo materiala dlya selekcii pshenicy metodom otдалenoj gibridizacii v usloviyah Severnogo Zaurala* [Creation of source material for wheat breeding by the method of distant hybridization in the conditions of the Northern Trans-Urals]. *Agrarnyj vestnik Urala* [Agrarian Bulletin of the Urals], no. 6 (48), pp. 36-37.

16. Trifonova, A.A., Dedova, L.V., Zuev, E.V., Goncharov, N.P., Kudryavtsev, A.M. (2021). Comparative analysis of the gene pool structure of *Triticum aethiopicum* wheat accessions conserved ex situ and re-collected in fields after 85 years. Biodiversity and Conservation, vol. 30, pp. 329-342.

17. Bedoshvilia, D., Mosulishvili, M., Chkhutashvili, G., Chokhelid, M., Ustiaishvili, N., Maisaia, I. (2020). Heritages wheats of Georgia. Annals of Agrarian Science, vol. 2, pp. 123-129.

18. Eticha, F., Belay, G., Bekele, E. (2006). Species Diversity in Wheat Landrace Populations from two Regions of Ethiopia. Genetic Resources and Crop Evolution, vol. 53, pp. 387-393.

19. Eticha, F., Grausgruber, H., Siebenhandl-Ehn, S. and Berghofer, E. (2011). Some Agronomic and Chemical Traits of Blue Aleurone and Purple Pericarp Wheat (*Triticum* L.). Journal of Agricultural Science and Technology, pp. 48-58.

20. Fisenko, A.V., Dragovich, A.Yu. (2023). On the Use of the Genetic Resources of Tetraploid Wheat *Triticum aethiopicum* for the Development of Purple-Grain Soft Wheat with a High Content of Anthocyanins. Russian Journal of Genetics, vol. 59, pp. 846-850.

21. Guo, Z., Zhang, Z., Xu, P. (2012). Analysis of nutrient composition of purple wheat. Cereal Res. Commun, vol. 41, № 2. pp. 293-303. DOI: 10.1556/crc.2012.0037.

22. He, J., Giusti, M.M. (2010). Anthocyanins: natural colorants with health-promoting properties. Ann. Rev. Food Sci. Technol, vol. 10, no. 1, pp. 163-187. DOI: 10.1146/annurev.food.080708.100754.

23. Khoo, H.E., Lim, S.M., Azlan, A. (2019). Evidence-based therapeutic effects of anthocyanins from foods. Pak. J. Nutr, vol. 18, no. 1, pp. 1-11. DOI: 10.3923/pjn.2019.1.11.

24. Sharma, S., Kapoor, P., Kaur, S., et al. (2021). Changing nutrition scenario: colored wheat — a new perspective. Physiological, Molecular, and Genetic Perspectives of Wheat Improvement, pp. 71-88. DOI: 10.1007/978-3-030-59577-7_4.