

СРАВНИТЕЛЬНАЯ ОЦЕНКА ЯРОВЫХ ФОРМ ТРИТИКАЛЕ ПО НЕКОТОРЫМ КОЛИЧЕСТВЕННЫМ ПРИЗНАКАМ

П. И. Степочкин, доктор сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник лаборатории генофонда растений, stepopetr@mail.ru, ORCID ID: 0000-0003-1136-0469;

Т. С. Брауэр, лаборант лаборатории генофонда растений, serebro578@mail.ru, ORCID ID: 0009-0006-9260-411X

Сибирский научно-исследовательский институт растениеводства и селекции – филиал Федерального исследовательского центра Института цитологии и генетики Сибирского отделения Российской академии наук, 630501, Новосибирская обл., р. пос. Краснообск, ул. С-200, зд. 5/1; e-mail: sibniirs@bk.ru

Исследование проводили с целью оценки и выбора для гибридизации яровых селекционных и коллекционных форм тритикале на основе расчета вклада количественных признаков в продуктивность колоса растений и в натуру зерна. Материал вручную высевали в 2021 г. и в 2023 г. по черному пару на делянках 0,5 м². Были изучены 32 образца яровой тритикале из мировой коллекции ВИР и созданная на основе гибридизации полбы *T.dicocum* (Schrang) Schuebl. с факультативной формой тритикале UK30/33 (*×Triticosecale* Wittmack ex A. Camus) 31 селекционная форма пшенично-ржаных амфиплоидов по комплексу количественных признаков, имеющих корреляцию с весом зерна с колоса растения и с натурой зерна. Выбор лучших форм пшенично-ржаных амфиплоидов проведен с применением метода корреляционного анализа и на основе разработанных алгоритмов расчета коэффициента значимости и общей оценки по комплексу признаков. В расчет принимали вклад каждого признака в вес зерна с колоса и в натуру зерна. По рассчитанной высокой селекционной ценности на основе комплекса наиболее важных признаков яровых тритикале отобраны по 10 коллекционных образцов тритикале и 10 селекционных форм пшенично-ржаных амфиплоидов с цитоплазмой полбы. Три образца тритикале из мировой коллекции ВИР – Susi (к-3535), Кармен (к-3933) и Арсенал (к-3874) показали короткий межфазный период «всходы–колошение» – 44–48 суток в 2021 г. и 33–38 суток в 2023 г., вес зерна с колоса, превышающий 3 г, массу 1000 зерен (более 46 г). Они выбраны в качестве родительских форм для гибридизации в селекционной программе. Селекционные формы, созданные на основе скрещиваний полбы с тритикале, характеризуются натурой зерна, превышающей 700 мл/г. Они будут использоваться в дальнейшей проработке в селекционных питомниках.

Ключевые слова: тритикале, признак, оценка, гибрид, селекция.

Для цитирования: Степочкин П. И., Брауэр Т. С. Сравнительная оценка яровых форм тритикале по некоторым количественным признакам // Зерновое хозяйство России. 2024. Т. 16, № 6. С. 49–55. DOI: 10.31367/2079-8725-2024-95-6-49-55.



COMPARATIVE ESTIMATION OF SPRING FORMS OF TRITICALE ACCORDING TO SOME QUANTITATIVE TRAITS

P. I. Stepochkin, Doctor of Agricultural Sciences, leading researcher, laboratory of the plant gene pool, stepopetr@mail.ru, ORCID ID: 0000-0003-1136-0469;

T. S. Bauer, laboratory assistant, laboratory of the plant gene pool, serebro578@mail.ru, ORCID ID: 0009-0006-9260-411X

Siberian Research Institute of Plant Production and Breeding – Branch of the Institute of Cytology and Genetics of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, 630501, Novosibirsk region, v. of Krasnoobsk, S-200 Str., building 5/1; e-mail: sibniirs@bk.ru

The study was conducted to estimate and select spring breeding and collection forms of triticales for hybridization based on the calculation of the contribution of quantitative traits to plant ear productivity and to grain nature weight. The material was manually laid in black fallow on the plots of 0.5 m² in 2021 and 2023. There were studied thirty-two spring triticales samples from the world collection of VIR and 31 breeding forms of wheat-rye amphiploids developed on the basis of hybridization of emmer wheat *T.dicocum* (Schrang) Schuebl. with the facultative form of triticales UK30/33 (*×Triticosecale* Wittmack ex A. Camus) according to a set of quantitative traits that correlate with grain weight per ear and with grain nature weight. The selection of the best forms of wheat-rye amphiploids was carried out using the method of correlation analysis and based on the developed algorithms for calculating the coefficient of significance and the general estimation according to a set of traits. There was considered a contribution of each trait to grain weight per ear and with grain nature weight. According to the calculated high breeding value based on a set of the most important traits of spring triticales, there were selected 10 collection samples of triticales and 10 breeding forms of wheat-rye amphiploids with emmer cytoplasm. Three triticales samples 'Susi (k-3535)', 'Karmen (k-3933)' and 'Arsenal (k-3874)' from the world collection of VIR showed a 44–48-day interphase sprouts-heading period in 2021 and 33–38 days in 2023, more than 3 g of grain weight per ear, more than 46 g of 1000-grain weight. They have been selected as parental forms for hybridization in the breeding program. The breeding forms developed based on emmer crossings with triticales were characterized by a grain nature weight exceeding 700 ml/g. They are going to be used in further breeding.

Keywords: triticales; trait; estimation; hybrid; breeding.

Введение. Искусственно созданная сельскохозяйственная культура тритикале стала востребована для возделывания благодаря сочетанию ценных признаков и свойств, таких как высокая урожайность, зимостойкость (Потапова и др., 2022), неприхотливость к почвенным и климатическим условиям, высокая отзывчивость на плодородие почвы и применение удобрений, качество зерна, высокая продуктивность зеленой массы для скармливания сельскохозяйственным животным, высокое содержание антиоксидантов в зерне (Janczak-Pieniazek et al., 2023). Растения тритикале также обладают высокой устойчивостью к ряду заболеваний (Mergoum et al., 2019; Miedaner et al., 2022), что делает ее экологически привлекательной культурой. Это объясняется тем, что гены устойчивости, например к мучнистой росе, локализованы как в хромосомах пшеницы, так и в хромосомах ржи.

Тритикале как искусственно созданная зерновая культура в селекционном плане более сложная, чем злаки, прошедшие длительный эволюционный процесс в природе. Требуется множество поколений для адаптации чужеродных геномов в первичных формах сложных организмов, полученных от скрещивания пшеницы с рожью (Kalinka and Achrem, 2018). Поэтому селекцию этой культуры вести труднее, чем пшеницы или ржи, особенно если необходимо вести отбор не по одному, а по комплексу признаков. Они могут иметь разную ценность и вклад в основной из них – продуктивность или урожайность зерна с единицы площади.

При этом необходимо учитывать долю вклада отдельных признаков в общую оценку. Селекционер может это делать, опираясь на собственную интуицию и опыт работы. Усовершенствовать эту работу можно с использованием корреляционного анализа.

Целью данной работы была сравнительная оценка яровых селекционных и коллекционных форм тритикале на основе расчета вклада определенного признака в продуктивность колоса растений и в массу зерна с применением метода корреляционного анализа.

Материалы и методы исследований.

Для изучения были выбраны не поражаемые спорыньей в течение четырех лет 32 образца яровой тритикале из мировой коллекции ВИР (Коллекция) и 31 селекционная форма (F_8 в 2021 г. и F_9 в 2023 г.) с цитоплазмой полбы (ДТ), созданная на основе межвидовой гибридизации сложного гибрида полбы *T. dicoccum* (Schrank) Schuebl. с факультативной формой тритикале УК30/33 ($\times$ *Triticosecale* Wittmack ex A. Camus). Критерием отбора гибридов для изучения были вымолачиваемость зерна из чешуек свыше 80 % и неломкий колосовой стержень. Те гибриды полбы с тритикале, которые начиная с F_7 не расщеплялись по качественным и количественным признакам, были занесены в селекционные формы тритикале. Коллекционные и селекционные пшенично-ржаные амфиплоиды высевали в питомни-

ке ручного сева для сравнительного изучения в полевых условиях на делянках 0,5 м² из трех рядков по 80 семян каждого образца в рядок длиной 0,85 м на паровом участке 10–11 мая в 2021 г. и 12–13 мая в 2023 году. Севооборот на опытном участке Сибирского научно-исследовательского института растениеводства и селекции: пар – опыты зерновых культур – пар. Почва – выщелочный чернозем с содержанием гумуса в пахотном слое до 9%, с преобладанием в составе катионов – кальция (до 85 %) и магния (до 10 %).

Среднемесячная температура воздуха в летний период 2021 г. была близка к среднепогодной с неравномерным распределением осадков. В мае 2021 г. была жаркая сухая погода, среднемесячная температура воздуха 14,3 °С, что на 2,4 °С выше среднепогодных данных, осадков выпало 25 мм, или 68 % от нормы. В июне было отмечено избыточное увлажнение (ГТК = 1,51). В июле установилась жаркая и сухая погода (ГТК = 0,57). Август был теплым, оптимально увлажненным (ГТК = 1,20).

Вегетационный период 2023 г. был недостаточно увлажненный. Май и июнь были засушливыми. ГТК равнялись соответственно 0,18 и 0,46. В июле влагообеспеченность оценивается как недостаточная (ГТК = 0,93). В августе отмечены обильные осадки и повышенная температура воздуха (ГТК = 2,04). В целом первые два месяца лета 2023 г. характеризовались дефицитом осадков, что привело к укорочению фаз развития растений и уменьшению их зерновой продуктивности.

Анализировали такие признаки растений, как продолжительность межфазного периода «всходы–колошение», длина соломины, размер самой длинной ости колоса, длина колоса, число колосков колоса, число зерен колоса, вес зерен с колоса, масса 1000 зерен, продуктивность зерна с делянки в пересчете на 1 м², натура зерна. Так как в полевых условиях 2021 и 2023 гг. болезни не проявились и полегания растений не наблюдали, то показатели устойчивости к этим факторам внешней среды у всех изучаемых форм были одинаково высокими, благодаря чему разницы между образцами не было.

Обмолот колосьев проводили колосковой молотилкой МК1. Статистическую обработку результатов проводили с помощью компьютерной программы, встроенной в электронную таблицу Excel.

Селекционная ценность зернового растения во многих случаях прямолинейно возрастает с увеличением значения того или иного признака (продуктивность зерна растения, натура зерна, число продуктивных стеблей). Но такое бывает не всегда. В некоторых случаях ценность растения меняется с увеличением значения признака (длительность вегетационного периода, высота растения).

При вычислении статистической оценки исследуемого образца первичные данные каждого количественного признака перево-

дятся из метрического выражения в скалярное с умножением на коэффициент значимости признака, алгоритм расчета которого основан на долевого выражении от 0 до 1 с учетом коэффициентов корреляций данного признака с натурой зерна и с весом зерна с колоса. Алгоритм расчета статистической оценки по признаку, имеющему прямолинейную зависимость, представлен формулой

$$C_n = k_n (M_n - M_{\min}) / (M_{\max} - M_{\min}) \quad (1)$$

где n – число изучаемых признаков; M_n – метрическое значение признака растений; $M_{\max}$ – максимальное метрическое выражение признака в наборе (n) изучаемых образцов тритикале; $M_{\min}$ – минимальное метрическое значение признака в изучаемой выборке; k_n – коэффициент значимости признака, алгоритм расчета которого основан на долевого выражении от 0 до 1 с учетом коэффициентов корреляций данного признака с натурой зерна и с весом зерна с колоса.

Диапазон возможных значений C_n от 0 до 1.

Общая оценка образца вычисляется по формуле:

$$C = \sum_{n=1}^N C_n$$

В случае, когда корреляция отрицательная, формула алгоритма расчета статистической оценки образца по признаку другая:

$$C_n = k_n (M_{\max} - M_n) / (M_{\max} - M_{\min}). \quad (2)$$

Диапазон возможных значений C_n от 0 до 1.

Однако эти две формулы не могут быть применены для оценки высоты растения и других признаков, ценность которых определяется не по максимальному или минимальному значению признака, а по оптимальному. Слишком короткие растения являются низкопродуктивными, а слишком длинные растения в большинстве случаев полегают. Для данного варианта разработан следующий алгоритм расчета статистической оценки образца по признаку:

$$C_n = k_n (1 - ((M_n - M_{\text{opt}})^2 / (M_n + M_{\text{opt}}))), \quad (3),$$

где M_{opt} – оптимальное метрическое выражение признака, за которое можно взять значение признака модельного образца, сорта-стандарта или среднее значение признака выборки. Диапазон возможных значений C_n от 0 до 1.

Алгоритмы расчетов основываются на компьютерной программе Excel.

Результаты и их обсуждение. Корреляции по силе выше средней отмечены у обеих групп изучаемого материала тритикале между числом зерен и весом зерен с растения, что также отмечают некоторые исследователи (Laouar and Hafsi, 2023). Нами высокие коэффициенты корреляции в 2021 и 2023 гг. выявлены между числом зерен с колоса и весом зерен (табл. 1).

Таблица 1. Коэффициенты корреляции 8 пар признаков трех групп яровых тритикале (2021 и 2023 гг.)

Table 1. Correlation coefficients of 8 pairs of traits of three spring triticale groups (2021 and 2023)

Коррелирующие признаки	Годы	Коллекция	ДТ
Число зерен колоса – Вес зерен	2021	0,75±0,25	0,85±0,20
	2023	0,73±0,26	0,82±0,22
Число зерен колоса – Вес зерен	2021	0,60 ±0,31	0,78±0,24
	2023	0,46±0,34	0,80±0,23
Период «всходы–колошение» – Натура	2021	-0,68±0,29	-0,48±0,33
	2023	-0,71±0,27	-0,45±0,34
Длина соломины – Вес зерен	2021	0,51±0,33	0,47±0,34
	2023	0,47±0,30	0,30±0,36
Длина колоса – Вес зерен	2021	0,37±0,35	0,61±0,30
	2023	0,30±0,36	0,51±0,33
Длина колоса – Число зерен с колоса	2021	0,38±0,35	0,52±0,33
	2023	0,36±0,36	0,42±0,35
Длина ости – Масса 1000 зерен	2021	0,58±0,31	0,43±0,34
	2023	0,56±0,32	0,45±0,33
Вес зерен – Масса 1000 зерен	2021	0,68±0,29	0,49±0,33
	2023	0,66±0,29	0,37±0,35

Средние по силе корреляции выявлены между длиной соломины и весом зерен. По литературным данным, у межсортовых гибридов тритикале отмечены невысокие корреляции между этими признаками (Goryanina, 2019). В обеих группах растений тритикале корреляции также средние между длиной колоса и весом зерен, длиной колоса и числом зерен, ве-

сом зерен с колоса и массой 1000 зерен, между признаками «длина ости» и «масса 1000 зерен». Признак «длина ости», на наш взгляд, более информативен, чем «длина ости над кончиком колоса», как это было принято в работе болгарских исследователей (Daskalova et al., 2021), так как позволяет учитывать изогнутые в бок ости. Отрицательная средняя по силе корреляция

имелась между натурой зерна и межфазным периодом «всходы – колошение». Значение этого показателя у коллекционных образцов в 2023 г. достигало $(-0,71 \pm 0,27)$. Признак межфазный период «всходы – колошение» больше не имел достоверной корреляции ни с каким-либо другим признаком в отличие от сообщений других авторов (Alam et al., 2023). По остальным парам признаков, в том числе между весом зерен с растения и натурой зерна, корреляции тоже не было или была очень слабой у всех групп тритикале.

Приоритетность признака в общей оценке образца определяется коэффициентом значимости согласно вычисленным коэффициентам корреляции. Каждому изучаемому признаку придается коэффициент значимости соответственно его долевого вкладу в статистическую оценку образца. Основное внимание было уделено признакам, взаимодействующим с натурой зерна и весом зерен с растения. Коэффициент значимости рассчитывается согласно сумме существенных коэффициентов корреляции.

Рассчитанные по формулам 1–3 с учетом значения признаков и коэффициентов значимости общие оценки образцов позволяют по совокупности признаков выбрать лучшие из них для дальнейшего изучения и использования в селекционных программах. В группе

коллекционных образцов тритикале выбрано 9 лучших согласно рассчитанной общей оценке выше 0,600. Отобрали 10 лучших селекционных форм, у которых общая оценка превышала 0,550. Стандартом в обеих группах служил сорт Тимур, районированный в Новосибирской области. Наряду со значениями общей оценки, учитывали показатели семи признаков с наибольшими коэффициентами значимости.

Двухфакторный дисперсионный анализ результата опыта с гибридными формами (фактор годы $F_{0,05} = 3,94$, фактор сорт $F_{0,05} = 1,97$) показал, что по длине стебля растений оба фактора существенны ($F_{\text{годы}} = 27,08$ и $F_{\text{сорт}} = 7,69$). По остальным признакам превышение табличных значений ($F_{0,05}$) фактическим не было.

У коллекционных форм оба фактора существенны по признаку «длина стебля» ($F_{\text{годы}} = 8,67$ и $F_{\text{сорт}} = 22,2$), по признаку «число зерен» ($F_{\text{годы}} = 3,99$ и $F_{\text{сорт}} = 3,37$), по признаку «вес зерен» ($F_{\text{годы}} = 4,63$ и $F_{\text{сорт}} = 7,62$).

У выделившихся коллекционных образцов на общую оценку в основном повлияли более короткий, чем у селекционных форм, межфазный период «всходы–колошение» (42–48 сут. в 2021 г., 33–38 сут. в 2023 г.), масса 1000 зерен (39,7–50,0 г в 2021 г., 39,4–48,2 г в 2023 г.), вес зерна с колоса (2,56–3,47 г в 2021 г., 2,42–3,33 г, в 2023 г.) (табл. 2).

Таблица 2. Показатели семи признаков и оценка 9 лучших коллекционных форм тритикале (2021 и 2023 гг.)
Table 2. Indicators of seven traits and estimation of 9 best collection forms of triticale (2021 and 2023)

Название тритикале	Год изучения	Период «всходы – колошение», сут.	Длина соломки, см	Длина колоса, см	Число зерен, шт.	Вес зерна с колоса, г	Масса 1000 зерен, г	Натура, г/л	Общая оценка образца (0–1)
Тимур (st), к-4252	2021	45	89,9±4,7	11,6±0,3	64,2±2,4	3,07±0,14	48,0±3,1	686	0,688
	2023	38	85,0±3,8	10,0±0,5	61,3±3,3	2,81±0,26	46,1±4,4	687	0,664
Susi, к-3535	2021	44	89,9±3,3	9,2±0,4	70,6±7,1	3,47±0,33*	46,9±3,2	667	0,798
	2023	33	88,3±2,6	8,9±0,5	68,6±6,5	3,33±0,43	48,2±3,1	687	0,817
Кармен, к-3933	2021	48	104±3,8*	11,7±0,5	68,2±6,7	3,37±0,34	50,0±6,4	665	0,730
	2023	38	102±4,0*	11,5±0,5*	67,7±4,8	3,27±0,27	48,2±1,8	676	0,751
Арсенал, к-3874	2021	44	100±2,5	9,8±0,3	63,2±5,8	3,00±0,34	49,0±5,3	705	0,723
	2023	35	98,8±3,1	9,6±0,4	62,1±5,3	2,89±0,31	46,5±2,3	732	0,746
Мыкола, к-3890	2021	44	96,8±3,2	10,8±0,6	64,0±5,5	2,80±0,30	44,4±4,9	700	0,694
	2023	35	92,3±5,5	10,5±0,4	62,9±5,9	2,66±0,29	44,1±1,7	711	0,707
Савва, к-4211	2021	44	88,6±2,5	9,9±0,7	59,5±4,6	2,75±0,31	45,9±3,4	703	0,688
	2023	34	87,8±3,6	9,6±0,5	56,7±5,7	2,69±0,39	47,1±2,9	709	0,677
Amigo, к-3913	2021	44	91,8±4,4	11,5±0,6	66,2±4,6	2,68±0,48	40,5±6,7	698	0,669
	2023	34	90,3±5,0	11,1±0,7	65,2±8,5	2,56±0,33	39,4±3,7	714	0,676
Лотас, к-3889	2021	48	91,6±4,2	11,8±0,7	62,9±4,2	3,06±0,41	48,5±5,1	658	0,665
	2023	39	89,8±5,6	11,7±1,0	61,6±5,6	2,90±0,23	47,4±2,9	673	0,669
Wopad, к-3723	2021	45	98,9±5,5	10,1±0,4	68,6±3,4	2,92±0,16	42,9±3,5	657	0,640
	2023	37	92,4±4,8	9,6±0,2	61,0±4,3	2,65±0,24	43,4±2,2	695	0,644
Ровня, к-3935	2021	43	79,8±3,2	10,5±0,3	65,5±2,9	2,56±0,14*	39,7±2,8	702	0,619
	2023	37	77,8±3,0	10,0±0,4	60,2±3,6	2,42±0,17	40,5±3,4	727	0,629
Квадро, к-4073	2021	48	88,9±3,8	11,6±0,4	61,5±5,1	2,69±0,25	44,2±4,5	653	0,603
	2023	41	91,9±4,5	11,8±0,3	65,8±6,3	2,83±0,21	43,6±3,5	660	0,632

Примечание. Достоверные отличия от стандарта: * $p < 0,05$.

Самый лучший, по общей оценке (798 в 2021 г. и 0,817 в 2023 г.) коллекционный об-

разец Susi (к-3535) имеет короткий межфазный период «всходы – колошение» (44 суток

в 2021 году и 33 – в 2023 г.). У него, а также у сорта Кармен (к-3933) показатели веса зерна с колоса превышают 3 г, количество зерен с колоса достигает 70 г, масса 1000 зерен – около 50 г. Данные образцы можно считать источниками хорошей продуктивности зерна с колоса, скороспелости и массы 1000 зерен. В группе коллекционных форм высокую для тритикале натуру зерна (705 г/л в 2021-м, 732 г/л в 2023 г.) показал сорт Арсенал (к-3873). Эти выделившиеся по высокой общей оценке образцы выбраны для гибридизации в качестве родительских форм в селекционных программах по яровой тритикале.

В группе селекционных форм тритикале с цитоплазмой полбы нет скороспелых образцов (табл. 3). Имеются позднеспелые образцы с длительным межфазным периодом «всходы – колошение» – до 51 суток в 2021 г. и до 46 суток

в 2023 году. Достоверных различий по изученным количественным признакам между лучшими по общей оценке форм нет. От сорта-стандарта Тимур достоверно отличился по длине стебля (свыше 100 см) селекционный образец ДТ 15/446 в оба года изучения и по числу зерен с колоса ($54,6 \pm 2,5$ шт.) – ДТ 15/452 в 2021 году. У всех этих селекционных образцов натура зерна выше 700 мл/г, что является хорошим показателем для культуры тритикале. Зерно менее морщинистое, чем у большинства других изученных тритикале. Возможно, в данный признак сделала вклад материнская форма – полба. У двух селекционных форм (ДТ 13/441 и ДТ Ф11) масса 1000 зерен превышает 50 г, что с высокой натурой зерна делает их привлекательными для дальнейшего селекционного использования.

Таблица 3. Показатели семи признаков и оценка 10 лучших селекционных форм тритикале с цитоплазмой полбы (2021 и 2023 гг.)

Table 3. Indicators of seven traits and estimation of 10 best selection forms of triticale with emmer cytoplasm (2021 and 2023)

Название тритикале	Год изучения	Период «всходы – колошение», сут.	Длина соломки, см	Длина колоса, см	Число зерен, шт.	Вес зерна с колоса, г	Масса 1000 зерен, г	Натура, г/л	Общая оценка образца (0–1)
Тимур (st), к-4252	2021	45	89,9±4,7	11,6±0,3	64,2±2,4	3,07±0,14	48,0±3,1	686	0,688
	2023	38	85,0±3,8	10,0±0,5	61,3±3,3	2,81±0,26	46,1±4,4	687	0,664
ДТ 15/447	2021	44	100,2±4,1	11,8±0,3	64,1±3,8	2,95±0,25	46,6±5,8	730	0,795
	2023	37	93,2±8,0	11,3±0,5	61,0±5,2	2,50±0,27	41,2±4,0	735	0,721
ДТ 13/441	2021	45	98,1±4,2	11,3±0,4	58,3±4,1	3,01±0,40	51,6±6,0	730	0,728
	2023	38	93,1±3,1	11,0±0,7	57,6±6,1	2,91±0,35	50,4±1,9	740	0,749
ДТ 15/446	2021	46	107,3±4,6*	10,9±0,6	59,9±4,2	2,53±0,17	42,3±2,3	722	0,692
	2023	37	104,0±3,7*	10,7±0,4	57,7±3,7	2,49±0,20	43,1±1,8	745	0,730
ДТ Ф11	2021	51	105,8±5,7	11,6±0,8	62,2±3,3	3,20±0,19	51,6±3,5	716	0,686
	2023	45	97,2±5,2	11,2±0,6	59,5±3,6	3,07±0,28	51,4±2,0	730	0,720
ДТ 13/437	2021	46	98,4±2,3	10,1±0,3	54,8±3,6	2,85±0,32	52,2±5,4	731	0,728
	2023	39	89,1±8,3	9,9±0,3	52,1±6,3	2,50±0,40	47,7±2,6	738	0,598
ДТ Ф4/466	2021	46	94,7±3,9	11,4±0,4	61,9±3,8	3,06±0,22	49,6±3,5	700	0,667
	2023	41	90,9±3,0	11,0±0,7	59,5±5,6	2,96±0,29	49,9±3,5	708	0,689
ДТ 125	2021	47	91,1±5,8	11,2±0,7	59,6±4,9	2,82±0,35	47,3±4,1	715	0,662
	2023	41	87,9±4,6	10,9±0,4	55,5±6,1	2,61±0,42	47,0±4,2	722	0,644
ДТ 15/452	2021	45	103,1±3,6	11,1±0,3	54,6±2,5*	2,51±0,16	46,1±3,5	729	0,638
	2023	39	96,5±7,1	10,6±0,6	50,2±4,7	2,25±0,24	44,7±1,7	745	0,613
ДТ 168/36	2021	45	98,7±3,9	11,1±0,5	55,1±3,8	2,44±0,33	44,4±5,2	717	0,618
	2023	37	92,7±5,1	10,8±0,5	53,2±7,6	2,36±0,29	44,9±3,2	727	0,624
ДТ 134	2021	51	94,7±4,6	11,3±0,4	55,6±5,9	2,68±0,15	48,8±3,0	716	0,570
	2023	46	88,2±3,2	11,1±0,3	54,6±4,1	2,55±0,24	46,8±3,5	729	0,594

Примечание. Достоверные отличия от стандарта: * $p < 0,05$.

Селекционные формы с цитоплазмой полбы получены в результате отдаленного скрещивания разнотипных видов злаков – полбы с геномной формулой AABB (28 хромосом) и факультативной гексаплоидной формой тритикале с геномной формулой AABBRR (42 хромосомы). В ранних поколениях проходила, с одной стороны, элиминация 14 хромосом, в основном ржи, и стабилизация гибридов на тетраплоидном уровне растений, преимущественно полбы, с другой – без элиминации хромосом проходила стабилизация гибридов на гекса-

плоидном уровне с возникновением тритикале с цитоплазмой полбы, так как она была материнской формой в гибридизации с тритикале. Отцовской формой был позднеспелый факультативный пшенично-ржаной амфилоид, полученный из популяции озимой линии тритикале, способный переходить к генеративному развитию при весеннем севе (Степочкин и Ермошкина, 2023). У гибридов тритикале, полученных в межвидовых скрещиваниях, происходит на протяжении нескольких поколений (в нашем случае в F_2-F_6) «притирка» геномов

разных видов с возникновением в последующих поколениях новых генотипов на стабильном уровне пloidности (Kalinka and Achrem, 2018). Селекционные формы в наших исследованиях были стабильными начиная с F_7 . Более продолжительный межфазный период «всходы – колошение» у них по сравнению с большинством коллекционных образцов, вероятно, унаследован от отцовской формы тритикале.

Выводы. По рассчитанной высокой селекционной ценности на основе комплекса наиболее важных признаков яровых тритикале выбраны 10 коллекционных образцов тритикале и 10 селекционных форм пшенично-ржаных амфиплоидов с цитоплазмой полбы. Три лучших коллекционных пшенично-ржаных амфиплоидов Susi (к-3535), Кармен (к-3933) и Арсенал (к-3874) отличились коротким межфазным периодом «всходы – колошение» (44–48 суток

в 2021 г., 33–38 суток в 2023 г.), массой 1000 зерен – свыше 46 г и озерненностью колоса – свыше 3 г и взяты в качестве родительских форм для внутривидовой гибридизации и использования в дальнейшем селекционном процессе. Десять выделенных по рассчитанной высокой селекционной ценности форм пшенично-ржаных амфиплоидов, полученных в результате гибридизации полбы с тритикале, характеризуются более длительным, чем коллекционные образцы, межфазным периодом «всходы – колошение» (до 51 суток в 2021 г. и до 46 суток в 2023 г.), лучшей натурой зерна, превышающей 700 мл/г. Они будут использоваться в дальнейшей проработке в селекционных питомниках.

Финансирование. Работа поддержана бюджетным проектом ИЦиГ СО РАН № FWNR-2022-0018.

Библиографический список

1. Степочкин П. И., Ермошкина Н. Н. Изучение факультативных форм тритикале после осеннего и весеннего сева // Письма в Вавиловский журнал генетики и селекции. 2023. Т. 9, № 2. С. 21–25. DOI: 10.18699/LettersVJ-2023-9-10
2. Потапова Г. Н., Зобнина Н. Л., Безогодов А. В., Иванова М. С. Перспективный исходный материал для селекции озимой тритикале в условиях Среднего Урала // Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции. 2022. Т. 183, № 4. С. 88–96. DOI: 10.30901/2227-8834-2022-4-88-96.
3. Janczak-Pieniazek M., Horvat D., Vuletic M. V., Babic M. K., Buczek J., Szpunar-Krok E. Antioxidant Potential and Phenolic Acid Profiles in Triticale Grain under Integrated and Conventional Cropping Systems // Agriculture. 2023. Vol. 13(5), P. 1–7. Article number: 1078. DOI: 10.3390/agriculture13051078
4. Mergoum M., Sapkota S., ElDoliefy A., Naraghi S. M., Pirseyedi S., Alamri M. S., AbuHammad W. Triticale (× Triticosecale Wittmack) Breeding. Advances in Plant Breeding Strategies // Cereals. Publisher: Springer Nature Switzerland. 2019. Vol. 5, P. 405–451. DOI: 10.1007/978-3-030-23108-8_11
5. Miedaner T., Flath K., Starck N., Weibmann S. Quantitative-genetic evaluation of resistances to five fungal diseases in a large triticale diversity panel (×Triticosecale) // Crops. 2022. Vol. 2(3), P. 218–32. DOI: 10.3390/crops2030016
6. Kalinka A., Achrem M. Reorganization of Wheat and Rye Genomes in Octoploid Triticale (× Triticosecale) // Planta. 2018. Vol. 247(4), P. 807–29. DOI: 10.1007/s00425-017-2827-0
7. Laouar A., Hafsi M. Behavior assessment of some Triticale (Triticosecale Wittmack) Genotypes under Mediterranean Semi-arid Conditions // Agricultural Science Digest. 2023. Vol. 44(4), DOI: 10.18805/agDF-523.arccjournals.com
8. Goryanina, T. Statistical correlations in winter triticale hybrids // Acta Agrobotanica. 2019. Vol. 72(4), P. 1–12. DOI: 10.5586/aa.1778
9. Daskalova N., Doneva S., Spetsov P. Characterization of Triticale (× Triticosecale Wittmack) Accessions and Reciprocal Hybrids Possessing Wheat 1D Chromosome A // Agriculturae Conspectus Scientificus. 2021. Vol. 86(2), P. 107–115
10. Alam M. N., Hakim A., Islam Z., Al Mamun A., Mandal S. N., Hossain M., Amin F., Islam R., Hossain I., Ekram S. B., Sharmin S., Hossain Z., Akter S., Abedin T., Yeasmin N., Sohel M. K. Physiological and yield contributing characters depicting a high yield potential triticale line (x Triticosecale Wittm.) // International Journal of Environmental & Agriculture Research (IJOEAR). 2023. Vol. 9(10), P. 1–11.

References

1. Stepochkin P. I., Ermoshkina N. N. Izuchenie fakul'tativnykh form tritikale posle osennego i vesennego seva [Study of facultative forms of triticale after autumn and spring sowing] // Pis'ma v Vavilovskii zhurnal genetiki i selektsii. 2023. T. 9, № 2. S. 21–25. DOI: 10.18699/LettersVJ-2023-9-10
2. Potapova G. N., Zobnina N. L., Bezgodov A. V., Ivanova M. S. Perspektivnyi iskhodnyi material dlya selektsii ozimoi tritikale v usloviyakh Srednego Urala [Promising initial material for breeding winter triticale in the conditions of the Middle Urals] // Trudy po prikladnoi botanike, genetike i selektsii. 2022. T. 183, № 4. S. 88–96. DOI: 10.30901/2227-8834-2022-4-88-96
3. Janczak-Pieniazek M., Horvat D., Vuletic M. V., Babic M. K., Buczek J., Szpunar-Krok E. Antioxidant Potential and Phenolic Acid Profiles in Triticale Grain under Integrated and Conventional Cropping Systems // Agriculture. 2023. Vol. 13(5), P. 1–7. Article number: 1078. DOI: 10.3390/agriculture13051078
4. Mergoum M., Sapkota S., ElDoliefy A., Naraghi S. M., Pirseyedi S., Alamri M. S., AbuHammad W. Triticale (× Triticosecale Wittmack) Breeding. Advances in Plant Breeding Strategies // Cereals. Publisher: Springer Nature Switzerland. 2019. Vol. 5, P. 405–451. DOI: 10.1007/978-3-030-23108-8_11
5. Miedaner T., Flath K., Starck N., Weibmann S. Quantitative-genetic evaluation of resistances to five fungal diseases in a large triticale diversity panel (×Triticosecale) // Crops. 2022. Vol. 2(3), P. 218–32. DOI: 10.3390/crops2030016
6. Kalinka A., Achrem M. Reorganization of Wheat and Rye Genomes in Octoploid Triticale (× Triticosecale) // Planta. 2018. Vol. 247(4), P. 807–29. DOI: 10.1007/s00425-017-2827-0

7. Laouar A., Hafsi M. Behavior assessment of some Triticale (Triticosecale Wittmack) Genotypes under Mediterranean Semi-arid Conditions // *Agricultural Science Digest*. 2023. Vol. 44(4), DOI: 10.18805/agDF-523.arccjournals.com
8. Goryanina, T. Statistical correlations in winter triticale hybrids // *Acta Agrobotanica*. 2019. Vol. 72(4), P. 1–12. DOI: 10.5586/aa.1778
9. Daskalova N., Doneva S., Spetsov P. Characterization of Triticale (× Triticosecale Wittmack) Accessions and Reciprocal Hybrids Possessing Wheat 1D Chromosome A // *Agriculturae Conspectus Scientificus*. 2021. Vol. 86(2), P. 107–115
10. Alam M. N., Hakim A., Islam Z., Al Mamun A., Mandal S. N., Hossain M., Amin F., Islam R., Hossain I., Ekram S. B., Sharmin S., Hossain Z., Akter S., Abedin T., Yeasmin N., Sohel M. K. Physiological and yield contributing characters depicting a high yield potential triticale line (x Triticosecale Wittm.) // *International Journal of Environmental & Agriculture Research (IJOEAR)*. 2023. Vol. 9(10), P. 1–11.

Поступила: 03.09.24; доработана после рецензирования: 08.11.24; принята к публикации: 11.11.24.

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

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Авторский вклад. Степочкин П. И. – концептуализация и проектирование исследования, выполнение полевых опытов, анализ данных и их интерпретация, подготовка рукописи; Брауэр Т. С. – выполнение полевых опытов, сбор и обработка данных.

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.