

 pismavavilov.ru

DOI 10.18699/LettersVJ-2023-9-16

## Оригинальное исследование

## Некоторые особенности созданных разными способами тритикале

П.И. Стёпочкин ✉

**Аннотация:** В данной статье сообщены результаты исследований 2021 г., посвященных пшенично-ржаным амфиплоидам (ПРА), или тритикале, созданным разными способами: скрещиванием мягкой пшеницы с рожью и последующим удвоением числа хромосом (октаплоидные (8x) тритикале 8x TDA и 8x TDE), выделением дивергентных форм гексаплоидных (6x) тритикале из популяций 8x тритикале, гибридизацией 8x тритикале с 6x ПРА, трехступенчатым скрещиванием (гибрид пшеницы × рожь × 6x ПРА), гибридизацией полбы с 6x ПРА и внутривидовой гибридизацией. Цель работы – изучение яровых и факультативных форм тритикале, созданных разными способами в СибНИИРС – филиале ИЦиГ СО РАН, по пяти признакам. Октоплоидные пшенично-ржаные формы значительно уступают гексаплоидным по плотности колоса, натуре и продуктивности зерна. Однако вследствие цитогенетической нестабильности 8x ПРА служат источниками дивергентных гексаплоидных тритикале, которые несут селекционно ценные признаки. Пять изученных дивергентных генотипов 6x тритикале превзошли по изученным признакам исходные 8x семьи тритикале и не уступили стандарту. Из них 6x TDA, выделенная из октаплоидной семьи 8x TDA, характеризовалась межфазным периодом «всходы – колошение», не превышавшим 43 сут. Две гексаплоидные формы, созданные скрещиванием полбы с тритикале, имели такой же показатель этого признака, а также натуру зерна, достигавшую 760 г/л. Самый короткий межфазный период «всходы – колошение», 41 день, отмечен у селекционных форм ДТ 182 и ДТ 24, созданных с участием полбы и тритикале, а также у стандарта – сорта Тимур. У них же и самый короткий колос. Октоплоидным по сравнению с гексаплоидными формами тритикале требуется больше времени от всходов до колошения – от 63 до 73 сут. У четырех факультативных тритикале этот период тоже длительный, превышал 62 сут. Из них две полученные из сортов, созданных на основе трехвидовых скрещиваний, обладали более высокой продуктивностью зерна, чем стандарт. Селекционный образец 6x Сиарс 258, созданный на основе внутривидовой гибридизации, показал не только хорошую натуру, но и самую высокую в опыте продуктивность зерна, достигавшую  $689 \pm 24$  г.

**Ключевые слова:** гексаплоидный; октаплоидный; тритикале; гибрид; признак.

**Для цитирования:** Стёпочкин П.И. Некоторые особенности созданных разными способами тритикале. *Письма в Вавиловский журнал генетики и селекции*. 2023;9(3):126-131. DOI 10.18699/LettersVJ-2023-9-16

**Благодарности:** Работа поддержана бюджетным проектом ИЦиГ СО РАН № FWNR-2022-0018.



## Original article

## Some peculiarities of triticales made by different ways

P.I. Stepochkin ✉

**Abstract:** In this article are reported the results of studies of 2021 relevant to wheat-rye amphiploids (WRA), or triticales, created in various ways: crossing common wheat with rye and then doubling the number of chromosomes (octoploid (8x) triticales 8x TDA and 8x TDE), selection of divergent hexaploid (6x) triticales forms found in 8x triticales populations, hybridization of 8x triticales with 6x WRA, three-stage crossing of three species (wheat × rye × 6x WRA), hybridization of emmer with 6x WRA and intraspecific hybridization of 6x WRA. The purpose of the work is to study five traits of spring and facultative forms of triticales created by different methods in SibNIIRS, branch of the Institute of Cytology and Genetics, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences. Octoploid wheat-rye forms are significantly inferior to hexaploid ones in terms of spike density, volume grain weight and productivity. However, due to cytogenetic instability, 8x WRAs are sources of divergent hexaploid triticales, that carry selectively valuable traits. Five studied divergent genotypes of 6x triticales exceeded the original 8x triticales families in terms of the studied traits and did not yield to the standard. One of them the

Сибирский научно-исследовательский институт растениеводства и селекции – филиал Федерального исследовательского центра Института цитологии и генетики Сибирского отделения Российской академии наук, р.п. Краснообск, Новосибирская область, Россия  
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, Krasnoobsk, Novosibirsk region, Russia

 petstep@ngs.ru © Стёпочкин П.И., 2023

6x TDA originated from the 8x TDA octoploid family was also characterized by a short interphase period “shoots–earring”, which did not exceed 43 days. Two hexaploid forms created by crossing emmer with triticale are characterized by the same index of this trait as well as a good volume grain weight, reaching 760 g/L. The shortest interphase period “shoots–earring”, 41 days, was noted in the standard variety Timur as well as in the breeding forms DT 182 and DT 24, made with the participation of emmer and triticale. They also have the shortest spike. Octoploid forms of triticale spend more time from germination to heading – from 63 to 73 days compared to hexaploid ones. Four facultative triticales have this long period too, exceeding 62 days. Two of these WRA that were obtained from the varieties made on the basis of three-species crosses have higher grain productivity than the standard. The breeding sample 6x Siars 258 made by intraspecific hybridization showed not only good volume grain weight, but also the highest grain productivity in the field test, reaching  $689 \pm 24$  g.

**Key words:** hexaploidy; octoploid; triticale; hybrid; trait.

**For citation:** Stepochkin P.I. Some peculiarities of triticale made by different ways. *Pisma v Vavilovskii Zhurnal Genetiki i Seleksii = Letters to Vavilov Journal of Genetics and Breeding*. 2023;9(3):126-131. DOI 10.18699/LettersVJ-2023-9-16 (in Russian)

**Acknowledgements:** This work was supported by Institute of Cytology and Genetics, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, budget project No. FWNR-2022-0018.

## Введение

В искусственно созданном пшенично-ржаном амфиплоиде (ПРА), или тритикале ( $\times$  *Triticosecale* Wittmack), объединены хромосомы геномов двух родов злаковых культур – пшеницы (*Triticum* spp.) и ржи (*Secale* spp.). Благодаря чему эта культура совмещает хорошие качества зерна, взятые от пшеницы, с устойчивостью к основным болезням, неблагоприятным почвенным и климатическим условиям, взятую от ржи (Ayalew et al., 2018; Ballesteros-Rodríguez, 2019; Bezabih et al., 2019). Зерно тритикале обладает высокой питательной ценностью из-за увеличенного по сравнению с пшеницей содержания незаменимых аминокислот, витаминов и микроэлементов (Zhu, 2018).

Наиболее распространены гексаплоидные (6x) тритикале ( $V^4V^4AARR$ ,  $2n = 42$ ), которые в отличие от октаплоидных (8x) ( $V^4V^4AADRR$ ,  $2n = 56$ ) цитогенетически более стабильные и урожайные. Сообщение о создании сорта 8x тритикале (Cheng, Murata, 2002), скорее всего, следует считать исключением, чем правилом. Гексаплоидные формы тритикале получают разными способами. Первичные 6x тритикале возникают от гибридизации тетраплоидных видов пшеницы с рожью при последующем удвоении числа хромосом у гибрида. Однако для селекционных целей наибольший интерес представляют методы создания вторичных 6x форм ПРА. Один из них основан на использовании октаплоидных форм тритикале. Вследствие цитогенетической нестабильности октаплоидные тритикале представляют собой гетерогенные популяции с высоким содержанием анеуплоидных растений. Так, у одной из семей озимых 8x тритикале содержание анеуплоидных растений превышало 70 % (Стёпочкин, Владимиров, 1978). В потомствах этих растений могут возникать гексаплоидные формы тритикале (Стёпочкин, 1978; Kalinka, Achrem, 2018). Такие дивергентные 6x формы тритикале цитогенетически более стабильные, чем исходные семьи 8x тритикале.

Другой вариант создания 6x ПРА основан на скрещивании октаплоидных тритикале с гексаплоидными. В итоге через несколько поколений сформировались вторичные 6x тритикале, несущие ряд селекционно ценных признаков. Таким образом были получены как озимые, так и яровые формы и сорта. Пионером этого направления был А.И. Державин (1960). Высокая эффективность метода получения

вторичных гексаплоидных тритикале доказана в ряде работ (Sanchez-Monge, 1958; Kiss, 1966; Pieritz, 1966; Krolow, 1971).

Третий путь получения гексаплоидных тритикале основан на перманентных двухступенчатых скрещиваниях: (мягкая пшеница  $\times$  рожь)  $\times$  гексаплоидная тритикале. Впервые эту схему скрещиваний применил Л.Х. Паремуд (1940). В качестве опылителя для стерильных пшенично-ржаных гибридов он использовал первичную гексаплоидную тритикале, созданную А.И. Державиным. Автор отметил, что применение этой схемы скрещивания позволило не только преодолеть бесплодие гибридов первого поколения, но и получить новые сбалансированные формы, представляющие интерес как для селекции, так и теоретических исследований. В практическом отношении наибольших успехов достиг А.Ф. Шульдин (1970), создавший по этой схеме сорта АД 201, АД 206 и АД 3/5, занимавшие в свое время несколько сотен тысяч гектаров.

Известно, что у видов пшениц за тип развития и продолжительность вегетационного периода ответственны гены *Vrn*, из которых особую роль играют гены *Vrn-1: Vrn-A1*, *Vrn-B1* и *Vrn-D1*, доминантные аллели которых определяют яровой тип развития, а рецессивные – озимый (Гончаров, 2012; Shcherban et al., 2015; Muterko et al., 2016; Dixon et al., 2019). На территории России, в том числе в Сибири, сорта яровой мягкой пшеницы в основном имеют два доминантных гена – *Vrn-A1* и *Vrn-B1* (Гончаров, 2012). За развитие растений факультативных форм пшеницы отвечают доминантные аллели гена *Vrn-B1* (Стельмах, 1986) или аллель *Vrn-D1b*, возникший по причине нуклеотидной мутации в промоторном участке гена *Vrn-D1a* (Zhang et al., 2012). В итоге растения способны переходить к генеративному развитию при весеннем севе. После осеннего сева действие доминантных аллелей этих генов приостанавливается до весны.

Сорта озимых тритикале в Сибири пока занимают небольшие площади, хотя два низкостебельных зимостойких сорта зернофуражного направления – Сирс 57 и Цекад 90, созданные в СибНИИРС – филиале ИЦиГ СО РАН, высевают от Красноярска до Перми, но на незначительных площадях в каждой области. Озимые сорта европейской селекции в условиях Сибири не всегда перезимовывают, а селекция яровых тритикале в данном регионе представлена слабо. Образцы яровых форм ПРА из мировой коллекции ВИР,

изученные в СибНИИРС – филиале ИЦиГ СО РАН, в основном имеют длительный вегетационный период и не подходят для короткого сибирского лета.

Яровые зерновые культуры, в отличие от озимых, гарантированно ежегодно дают урожай. В России к 2021 г. в государственный реестр селекционных достижений, допущенных к использованию, уже занесено 20 сортов яровых ПРА<sup>1</sup>. В обширном земледельческом регионе Сибири возделывают преимущественно яровые злаки, приспособленные к местным условиям, однако сортов яровой тритикале сибирской селекции пока среди них нет. Способность тритикале лучше, чем пшеница, переносить неблагоприятные почвенные и климатические факторы (Ayalew et al., 2018; Ballesteros-Rodríguez, 2019; Bezabih et al., 2019) мотивирует заниматься созданием и селекцией этой культуры. В зависимости от способа получения возникают разные варианты генотипов растений для селекционного использования.

Цель данной работы – изучение яровых и факультативных форм тритикале, созданных разными способами в СибНИИРС – филиале ИЦиГ СО РАН, по пяти признакам.

## Материал и методы

Для изучения взяты полученные в разные годы в СибНИИРС – филиале ИЦиГ СО РАН формы ПРА ярового и факультативного типа развития.

Одним из направлений было выделение дивергентных форм 6х тритикале из популяций цитогенетически нестабильных октаплоидных тритикале. Первичные формы 8х тритикале созданы скрещиванием озимой мягкой пшеницы, а также линий яровой мягкой пшеницы Triple Dirk A (носитель доминантного гена *Vrn-A1*), Triple Dirk E (носитель доминантного гена *Vrn-D1*) и Triple Dirk B (носитель доминантного гена *Vrn-B1*) с озимой диплоидной рожью Короткостебельная 69 при последующем удвоении числа хромосом у пшенично-ржаных гибридов (Стёпочкин, Владимиров, 1978; Стёпочкин, 2009; 2017). Яровые октаплоидные формы тритикале (поколения  $C_8-C_9$ ), полученные на основе линий мягкой пшеницы Triple Dirk A, Triple Dirk E и Triple Dirk B, обозначены как 8х TDA, 8х TDB и 8х TDE соответственно. Дивергентные озимые 6х формы тритикале УК 30 и ЛМК 462 выделены из популяций октаплоидных комбинаций скрещивания ПРА Ульяновка × Короткостебельная 69 и ( $F_1$ : Лютесценс 230 × Мироновская 808) × Короткостебельная 69 соответственно. Факультативные формы УК 30/33 и ЛМК 462/208 получены из них в 1999 г. (поколение  $S_{10}$ ) и 2000 г. (поколение  $S_9$ ) соответственно.

Дивергентные яровые 6х ПРА также выделены в 2012–2013 гг. (поколение  $D_6$ ) из популяций октаплоидных тритикале 8х TDA, 8х TDA × 8х TDB, 8х TDA × 8х TDE, полученных на основе комбинаций скрещивания Triple Dirk A × Короткостебельная 69, (8х Triple Dirk A × Короткостебельная 69) × (8х Triple Dirk B × Короткостебельная 69) и (8х Triple Dirk A × Короткостебельная 69) × (8х Triple Dirk D × Короткостебельная 69) соответственно.

<sup>1</sup> Тритикале яровая (*X Triticosecale* Wittm. ex A. Camus). Государственный реестр селекционных достижений, допущенных к использованию (2021 год) – часть 3. Доступно: [https://www.zinref.ru/000\\_uchebniki/04600\\_raznie\\_15/281-gos-reestr-selekcion-dostojenii-RF-2021g/003.htm](https://www.zinref.ru/000_uchebniki/04600_raznie_15/281-gos-reestr-selekcion-dostojenii-RF-2021g/003.htm)

Второе направление включало создание вторичных 6х тритикале на основе скрещивания 8х тритикале с 6х ПРА. Так, получены и изучены яровые гексаплоидные формы  $F_8$ , выделенные в потомстве комбинации скрещивания 8х тритикале 8х TDE с 6х тритикале Сирс 57 (Sterochkin, Stasyuk, 2021). Таким же способом получены вторичные 6х тритикале в комбинациях скрещивания 8х TDB × 6х ПРА Сирс 57 и 8х TDA × 6х ПРА Цекад 90.

Третий способ получения гексаплоидных форм ПРА заключался в трехступенчатом скрещивании в 1984 г. гибридов  $F_1$  сортов озимой пшеницы Цезиум 39 × Краснодарская 39 с озимой диплоидной рожью Короткостебельная 69 и полученного гибрида – с озимой 6х тритикале АД 3/5. Впоследствии из этой комбинации скрещивания получены 6х селекционные формы и сорта Цекад 90 и Сирс 57. Факультативные формы Цекад 90/5 и Сирс 57/2/4, способные переходить к генеративному развитию как после осеннего, так и весеннего сева, созданы из них в 2000 г. (поколение  $S_9$ ) и 2001 г. (поколение  $S_{10}$ ) соответственно.

Четвертый способ получения гексаплоидных тритикале основан на гибридизации в 2013 г. полбы  $F_1$  (Л133 × ПКК) × × к-25516 (*Triticum dicoccon* (Schrank) Schuebl.) с гексаплоидным ПРА УК 30/33. Взяты для сравнительного изучения линии  $F_8$  ДТ 24 и ДТ 182.

Новые формы яровых тритикале также получали внутривидовой гибридизацией 6х ПРА. Для изучения взяты две селекционные формы гибрида  $F_9$  комбинации скрещивания сортов Сирс 57 × Арсенал: Сиарс 233 и Сиарс 258. В 2021 г. созданные разными способами формы тритикале высевали на паровом участке в первой декаде мая на делянках площадью 1 м<sup>2</sup>. Для анализа выбраны признаки: продолжительность межфазного периода растений тритикале «всходы – колошение», длина и плотность колоса, натура и продуктивность зерна.

Статистическую обработку результатов по 10 растениям каждого образца проводили согласно ранее описанной методики с помощью *t*-критерия Стьюдента (Доспехов, 1985).

## Результаты и обсуждение

Гексаплоидные тритикале факультативного типа развития по сравнению с яровыми 6х ПРА имеют более продолжительный период от всходов до колошения – 62–65 сут (таблица). Самый короткий межфазный период, 41 день, отмечен у селекционных форм ДТ 182 и ДТ 24, созданных с участием полбы, а также у стандарта – сорта Тимур. У них же и самый короткий колос.

В группе октаплоидных тритикале семья 8х TDB выделяется наиболее длительным межфазным периодом – 73 сут. В семье 8х TDA он значительно короче (63 сут), у растений гибридов 8х ПРА с участием этой семьи межфазный период «всходы – колошение» тоже короче, чем у 8х TDB. Такое различие вполне объяснимо, так как тритикале 8х TDA обладает доминантным аллелем гена *Vrn-A1*, укорачивающим длину вегетационного периода растений, в отличие от гена *Vrn-B1*, который у амфиплоида 8х TDB удлиняет этот межфазный этап (Стёпочкин, Емцева, 2017).

У октаплоидной формы 8х TDE и трех гексаплоидных ПРА (Тимур, ДТ 182 и ДТ 24) колос короткий, не более 8 см. Эти три

Характеристика полученных разными способами форм тритикале  
Characteristics of triticale forms made by various methods

Форма тритикале и пшеницы	Фаза «всходы – колошение», сут	Длина колоса, см	Плотность колоса	Натура зерна, г/л	Продуктивность зерна, г/м <sup>2</sup>
6x Тимур, стандарт	41	6.4 ± 0.8	2.53 ± 0.17	755 ± 12	601 ± 19
6x Сиарс 233	47	8.3 ± 0.6*	3.04 ± 0.18*	746 ± 7	522 ± 16*
6x Сиарс 258	48	9.5 ± 0.7*	2.94 ± 0.19	727 ± 23	689 ± 24*
6x ДТ 182	41	6.6 ± 0.5	2.60 ± 0.15	758 ± 3	412 ± 13***
6x ДТ 24	41	7.7 ± 0.8	2.71 ± 0.25	760 ± 7	522 ± 12*
6x УК 30/33	65	9.0 ± 0.5*	2.36 ± 0.21	712 ± 15	594 ± 56
6x ЛМК 462/208	62	8.6 ± 0.3*	2.49 ± 0.08	706 ± 22	551 ± 28
6x Сирс 57/2/4	64	11.3 ± 0.6**	2.88 ± 0.07	612 ± 17	662 ± 39
6x Цекад 90/5	64	12.4 ± 0.4**	2.61 ± 0.07	631 ± 25	688 ± 26*
6x (8x TDA × Цекад 90)	47	10.8 ± 0.2**	2.54 ± 0.08	650 ± 38	507 ± 36
6x (8x TDB × Сирс 57)	58	11.0 ± 0.7**	2.57 ± 0.02	591 ± 27*	454 ± 41*
6x (8x TDE × Сирс 57)	54	11.6 ± 0.4**	2.76 ± 0.04	598 ± 33	349 ± 15***
6x TDA	43	10.8 ± 0.3**	2.43 ± 0.05	689 ± 20	625 ± 53
6x (8x TDA × 8x TDB)	50	10.8 ± 0.4**	2.60 ± 0.23	630 ± 39	575 ± 54
6x (8x TDA × 8x TDE)	47	12.1 ± 0.7**	2.46 ± 0.17	600 ± 48	555 ± 31
8x (8x TDA × 8x TDB)	66	11.9 ± 0.7**	1.91 ± 0.06*	563 ± 16**	257 ± 10***
8x (8x TDA × 8x TDE)	63	11.1 ± 0.6**	1.95 ± 0.04*	538 ± 22**	222 ± 12***
8x TDA	63	8.9 ± 0.5*	1.99 ± 0.05*	622 ± 29*	205 ± 16***
8x TDB	73	8.7 ± 0.2**	1.91 ± 0.07*	552 ± 28**	79 ± 15***
8x TDE	65	7.3 ± 0.8	1.87 ± 0.03**	537 ± 34**	109 ± 18***

Примечание. Достоверное отличие от стандарта: \*  $p < 0.05$ ; \*\*  $p < 0.01$ ; \*\*\*  $p < 0.001$

6x ПРА отличились и коротким межфазным периодом «всходы – колошение», который, вероятно, повлиял на укорочение колоса растений гексаплоидных тритикале. У всех 6x тритикале колос значительно более плотный, чем у 8x ПРА. Особенно плотным колосом характеризуются ПРА, созданные с участием сорта Сирс 57. По натуре зерна четыре селекционные формы – Сиарс 233, Сиарс 258, ДТ 182 и ДТ 24 – не уступают стандарту, имеющему значение этого признака  $755 \pm 12$  г/л. У октаплоидных тритикале показатели данного критерия гораздо ниже. По продуктивности зерна октаплоидные ПРА значительно уступают гексаплоидным. Это связано с более низкой, чем у 6x ПРА, плотностью колоса, а также с плохой фертильностью многих растений в пределах одной и той же семьи 8x тритикале. Селекционный гексаплоидный образец Сиарс 258, созданный внутривидовой гибридизацией, обладает хорошей натурой и высокой продуктивностью зерна и представляет ценность для последующей селекционной работы.

Известно, что октаплоидные формы тритикале цитогенетически нестабильны. В их популяциях обнаруживают большую долю имеющих пониженную фертильность анеуплоидных растений с числом хромосом, отличающимся от 56 (Vettel, 1960; Krolow, 1963; Стёпочкин, Владимиров, 1978; Kalinka, Achrem, 2018). В потомствах анеуплоидных растений появляются 6x формы тритикале (Стёпочкин, 1978; Dou et al., 2006). Гексаплоидные формы цитогенетически более стабильные, чем октаплоидные (Cheng, Murata, 2002), и мейоз у них более регулярный. Особый интерес представляют высокофертильные 6x тритикале с геномами A, B и R в ре-

зультате элиминации хромосом генома D (Li et al., 2015). Ранее у гексаплоидного сорта тритикале Сирс 57 определено наличие рецессивного гена *vrn-D1*, оставшегося в геномном наборе, несмотря на элиминацию генома D мягкой пшеницы (Stepochkin, Stasyuk, 2021). В некоторых работах сообщается о сохранении у 6x ПРА части генетического материала генома D пшеницы (Каминская и др., 2005). Эти факты свидетельствуют о том, что при спонтанном возникновении дивергентных гексаплоидных тритикале в процессе деплоидизации октаплоидных ПРА сохраняются некоторые фрагменты генома D мягкой пшеницы.

У коллекционных 6x форм ПРА межфазный период «всходы – колошение» короче, чем у 8x тритикале (Стёпочкин, Емцева, 2017). Другие авторы также сообщают, что в пределах комбинации скрещивания 6x ПРА выколашиваются раньше, чем 8x тритикале (Каминская и др., 2005). То есть сократить межфазный период «всходы – колошение» у тритикале возможно снижением уровня пloidности. В нашей работе это достигнуто спонтанной деплоидизацией октаплоидных тритикале, в результате чего появились гексаплоидные формы с существенно сокращенным межфазным периодом «всходы – колошение».

Из всех аллополиплоидов у тритикале выявлено больше всего геномных изменений, проявляемых в основном в элиминации последовательностей оснований ДНК (Ma, Gustafson, 2008). Полиплоидизация, изменение геномного состава растений в результате отдаленной гибридизации, а также деплоидизация связаны со структурными и генетическими перестройками внутри геномов. Еще один часто

проявляемый тип трансформаций в геномах аллополиплоидов – перемещение и вставки ретротранспозонов в новые места нуклеотидных последовательностей. Особенно интенсивно эти процессы происходят в ранних поколениях вплоть до F<sub>8</sub> становления вновь созданных форм тритикале (Kalinka, Achrem, 2018). В нашем материале у большинства дивергентных 6х тритикале, а также селекционных форм гибридного происхождения формообразовательный процесс по этой причине еще продолжается.

Все полученные разными способами формы тритикале полностью устойчивы к мучнистой росе и видам головни, слабо поражаются бурой ржавчиной, не устойчивы к септориозу. Две формы, созданные гибридизацией полбы с тритикале, в отдельные годы могут поражаться спорыньей.

### Заключение

Изучение созданных разными способами в СибНИИРС – филиале ИЦиГ СО РАН яровых и факультативных форм тритикале показало, что октаплоидные пшенично-ржаные формы значительно уступают гексаплоидным по плотности колоса, натуре и продуктивности зерна. Однако вследствие цитогенетической нестабильности 8х ПРА служат источником дивергентных гексаплоидных тритикале, которые несут селекционно ценные признаки. Пять дивергентных 6х тритикале превосходили по изученным признакам исходные 8х семьи тритикале и не уступали стандарту. Из них 6х TDA, выделенная из октаплоидной семьи 8х TDA, отличилась межфазным периодом «всходы – колошение», не превышавшим 43 сут. Самый короткий этот период, 41 день, отмечен у селекционных форм ДТ 182 и ДТ 24, созданных с участием полбы, а также у стандарта – сорта Тимур. У них же и самый короткий колос.

Две гексаплоидные формы, созданные скрещиванием полбы с тритикале, характеризовались таким же показателем этого признака, а также хорошей натурой зерна, достигавшей 760 г/л. Селекционный образец 6х Сиарс 258, созданный на основе внутривидовой гибридизации, показал не только хорошую натуру, но и самую высокую в опыте продуктивность зерна – 689 ± 24 г. У четырех факультативных тритикале отмечен длительный период от всходов до колошения, превышающий 62 сут. Из них две, полученные из сортов, созданных на основе трехвидовых скрещиваний, обладали более высокой продуктивностью зерна, чем стандарт. Для создания озимых сортов Цекад 90 и Сирс 57 выигрышным оказался способ получения исходного материала для селекции на основе трехвидовых скрещиваний. Однако полученные на их основе две факультативные формы слишком позднеспелые и не подходят для возделывания в сибирском регионе. Для создания яровых тритикале необходимо укоротить продолжительность вегетационного периода. По совокупности селекционно ценных признаков для дальнейшей селекционной работы выбраны Сиарс 233, Сиарс 258, ДТ 24 и ДТ 182.

### Список литературы / References

Гончаров Н.П. Сравнительная генетика пшениц и их сородичей. Новосибирск: Академическое изд-во «Гео», 2012 [Goncharov N.P. Comparative genetics of wheat and their related species. Novosibirsk: Academic Publishing House "Geo", 2012 (in Russian)]

- Державин А.И. Краткие итоги работ по гибридизации пшеницы с многолетней рожью и пырееями. *Тр. Ставропольского с.-х. ин-та*. 1960;9:47-53 [Derzhavin A.I. Short result of the work on hybridization of wheat with rye and witch grass. *Proceedings of the Stavropol Agricultural Institute*. 1960;9:47-53 (in Russian)]
- Доспехов Б.А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований). М: Агропромиздат, 1985. [Field experiment technique (with the basics of statistical processing of research results). Moscow: Agropromizdat Publ., 1985 (in Russian)]
- Каминская Л.Н., Корень Л.В., Леонова И.Н., Адонина И.Г., Хотылева Л.В., Салина Е.А. Создание линий тритикале, маркированных *vrn*-генами, и их молекулярно-генетический анализ. *Информ. вест. ВООУС*. 2005;4(9):481-489 [Kaminskaya L.N., Koren L.V., I.N. Leonova L.V., Adonina I.G., Khotyleva L.V., Salina E.A. Development of triticale lines tagged with *Vrn* genes and their molecular-genetic study. *Informatsionny Vestnik VOGIS = The Herald of Vavilov Society for Geneticists and Breeders*. 2005;4(9):481-489 (in Russian)]
- Паремуд Л.Х. Новые формы пшенично-ржаных гибридов. *Селекция и семеноводство*. 1940;4:4-6 [Peremud L.H. New forms of wheat-rye hybrids. *Breeding and Seed Growing*. 1940;4:4-6 (in Russian)]
- Стельмах А.Ф. Анализ частот аллелей и генотипов по локусам *Vrn1-Vrn3* у яровой мягкой пшеницы. *Генетика*. 1986;12(10):2459-2468. [Stelmakh A.F. Analysis of frequency of alleles and genotypes on loci *Vrn1-Vrn3* of spring common wheat. *Genetika = Genetics (Moscow)*. 1986; 12(10):2459-2468 (in Russian)]
- Стёпочкин П.И. Появление растений 6х тритикале в потомстве C<sub>2</sub> гомогеномных 8х тритикале. *Генетика*. 1978;14(9):1658-1659 [Stepochkin P.I. The appearance of 6x triticale plants among the C<sub>2</sub> offspring of homogenomic 8x triticale. *Genetika = Genetics (Moscow)*. 1978;14(9):1658-1659 (in Russian)]
- Стёпочкин П.И. Создание и изучение серии по генам *VRN* форм тритикале. *Сиб. вестн. с.-х. науки*. 2009;11:26-32 [Stepochkin P.I. Development and study of a set of triticale forms as to the VRN genes. *Siberian Herald of Agricultural Science*. 2009;11: 26-32 (in Russian)]
- Стёпочкин П.И. Изучение продолжительности фазы «всходы – колошение» у гибридов ранних поколений яровых тритикале разных уровней плоидности. *Вестник АПК Ставрополя*. 2017;1(25):148-152 [Stepochkin P.I. Study of duration of the «shoots – earing» phase of the spring triticale early generations hybrids of different ploidy levels. *Agricultural Bulletin of Stavropol Region*. 2017;1(25):148-152. (in Russian)]
- Стёпочкин П.И., Владимиров Н.С. Характеристика линий C<sub>1</sub> озимых гомогеномных октоплоидных тритикале по количеству хромосом, озерненности и морозостойкости. *Генетика*. 1978;14(9):1597-1603 [Stepochkin P.I., Vladimirov N.S. Chromosome number, seed set and winter hardiness characteristics of C<sub>1</sub> winter lines of homogenomic 8x triticale. *Genetika = Genetics (Moscow)*. 1978;14(9):1597-1603 (in Russian)]
- Стёпочкин П.И., Емцева М.В. Изучение межфазного периода «всходы – колошение» у исходных родительских форм и гибридов тритикале с разными генами *Vrn*. *Вавиловский журнал генетики и селекции*. 2017;21(5):530-533. DOI 10.18699/VJ17.22-0 [Stepochkin P.I., Emtseva M.V. Study of the interphase period «shoots – earing» of the initial parental forms and hybrids of triticale with different *Vrn* genes. *Vavilovskii Zhurnal Genetiki i Seleksii = Vavilov Journal of Genetics and Breeding*. 2017;21(5):530-533. DOI 10.18699/VJ17.22-0 (in Russian)]
- Шульдин А.Ф. Синтез трехвидовых пшенично-ржаных гибридов. *Генетика*. 1970;6(6):23-35. [Shulindin A.F. Synthesis of threespecies wheat-rye hybrids. *Genetika = Genetics (Moscow)*. 1970;6(6):23-35 (in Russian)]
- Ayalew H., Kumssa T.T., Butler T.J., Ma X.-F. Triticale improvement for forage and cover crop uses in the southern great plains of the united states. *Front Plant Sci*. 2018;9:1130. DOI 10.3389/fpls.2018.01130
- Ballesteros-Rodríguez E., Martínez-Rueda C.G., Morales-Rosales E.J., Estrada-Campuzano G. Changes in number and weight of wheat

- and triticale grains to manipulation in source-sink relationship. *Int. J. Agron.* 2019;3:1-9. DOI 10.1155/2019/7173841
- Bezabih A., Girmay G., Lakewu A. Performance of triticale varieties for the marginal highlands of Wag-Lasta, Ethiopia. *Cogent Food Agric.* 2019;5(1):1-11. DOI 10.1080/23311932.2019.1574109
- Cheng Z.J., Murata M. Loss of chromosomes 2R and 5RS in octoploid triticale selected for agronomic traits. *Genes Genet. Sys.* 2002;77(1):23-29. DOI 10.1266/ggs.77.23
- Dixon L., Karsai I., Kiss T., Adamski N., Liu Z., Ding Y., Allard V., Boden S., Griffiths S. *VERNALIZATION1* controls developmental responses of winter wheat under high ambient temperatures. *Development.* 2019;146(3):dev172684. DOI 10.1242/dev.172684
- Dou Q., Tanaka H., Nakata N., Tsujimoto H. Molecular cytogenetic analyses of hexaploid lines spontaneously appearing in octoploid Triticale. *Theor. Appl. Genet.* 2006;114(1):41-47. DOI 10.1007/s00122-006-0408-x
- Kalinka A., Achrem M. Reorganization of wheat and rye genomes in octoploid triticale ( $\times$  *Triticosecale*). *Planta.* 2018;247(4):807-829. DOI 10.1007/s00425-017-2827-0
- Kiss A. Neue Richtung in der Triticale-Zucht. *Z. Pflanzenzucht.* 1966; 55:309-329
- Krolow K.-D. Aneuploidie und Fertilität bei amphidiploiden Weizen-Roggen-Bastarden (Triticale). 2. Aneuploidie und Fertilitäts-Untersuchungen an einer oktoploiden Triticale-Form mit starker Abregulierungstendenz. *Z. Pflanzenzucht.* 1963;49(3):210-242
- Li H., Guo X., Wang C., Ji W. Spontaneous and divergent hexaploid triticales derived from common wheat  $\times$  rye by complete elimination of D-genome chromosomes. *PLoS One.* 2015; 10(3):e0120421. DOI 10.1371/journal.pone.0120421
- Ma X.-F., Gustafson J.P. Allopolyploidization-accommodated genomic sequence changes in triticale. *Ann. Bot.* 2008;101(6):825-832. DOI 10.1093/aob/mcm331
- Muterko A., Kalendar R., Salina E. Novel alleles of the *VERNALIZATION1* genes in wheat are associated with modulation of DNA curvature and flexibility in the promoter region. *BMS Plant Biol.* 2016;16 Suppl 1(Suppl 1):9. DOI 10.1186/s12870-015-0691-2
- Pieritz W.J. Untersuchungen über die Ursachen der Aneuploidie bei amphidiploiden Weizen-Roggen-Bastarden und über die Punktionsfähigkeit ihrer männlichen und weiblichen Gameten. *Z. Pflanzenzücht.* 1966;1:27-69
- Sanchez-Monge E. Hexaploid triticale. Proceedings of First International Wheat Genetics Symposium. Winnipeg, Canada: 1958;181-194
- Shcherban A., Börner A., Salina E. Effect of *VRN-1* and *PPD-D1* genes on heading time in European bread wheat cultivars. *Plant Breed.* 2015;134:49-55. DOI 10.1111/pbr.12223
- Stepochkin P.I., Stasyuk A.I. The interphase period "germination-heading" of 8x and 6x triticale with different dominant *Vrn* genes. *Vavilovskii Zhurnal Genetiki i Seleksii = Vavilov Journal of Genetics and Breeding.* 2021;25(6):631-637. DOI 10.18699/VJ21.071
- Vettel F.K. Mutationsversuche an Weizen-Roggen-Bastarden (Triticale). 3. Mutationsauslösung bei Triticale Meister und Triticale 8324. *Züchter.* 1960;30(8):313-329
- Zhang J., Wang Y., Wu S., Yang J., Liu H., Zhou Y. A single nucleotide polymorphism at the *Vrn-D1* promoter region in common wheat is associated with vernalization response. *Theor. Appl. Genet.* 2012;125(8):1697-1704. DOI 10.1007/s00122-012-1946-z.
- Zhu F. Triticale: Nutritional composition and food uses. *Food Chem.* 2018;241:468-479. DOI 10.1016/j.foodchem.2017.09.009

**Конфликт интересов.** Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

Поступила в редакцию 03.07.2023. После доработки 14.08.2023. Принята к публикации 16.08.2023.