

 pismavavilov.ru

DOI 10.18699/letvjgb-2024-10-13

Обзор

Уникальный сибирский генофонд ржи и его использование в селекции зерновых культур

Н.Н. Ермошкина , А.А. Саламатина, Г.В. Артёмова, К.К. Мусинов , А.С. Сурначев, П.И. Стёпочкин

Аннотация: В статье представлены данные по исследованию и использованию сибирского генофонда ржи для создания сортов озимой ржи, получения озимой тритикале и трансгрессивных форм озимой мягкой пшеницы, превышающих стандартные сорта по урожайности и другим хозяйственно важным признакам и свойствам. В результате селекционной работы созданы конкурентоспособные сорта озимой ржи двух уровней ploidy (2n = 14, 2n = 28), сочетающие в одном генотипе высокую зимостойкость, устойчивость к полеганию, урожайность, качество зерна, а также адаптивность к биотическим и абиотическим стрессам. Для использования в селекционном процессе в условиях Сибири наиболее перспективен сорт озимой ржи Короткостебельная 69. Путем перевода его на тетраплоидный уровень создан зимостойкий, продуктивный, устойчивый к полеганию сорт Тетра короткая, районированный по Западно-Сибирскому и Восточно-Сибирскому регионам. Использование сорта Короткостебельная 69 в отдаленной гибридизации позволило получить зимостойкие короткостебельные сорта озимой тритикале Сирс 57 и Цекад 90 с продуктивностью свыше 6.0 т/га. На основе селекционной линии тритикале ЛМК 462, включающей в родословную сорт Короткостебельная 69, создан сорт озимой мягкой пшеницы Новосибирская 3 с повышенным уровнем зимостойкости.

Ключевые слова: селекция; рожд; тритикале; пшеница; сорт.

Для цитирования: Ермошкина Н.Н., Саламатина А.А., Артёмова Г.В., Мусинов К.К., Сурначев А.С., Стёпочкин П.И. Уникальный сибирский генофонд ржи и его использование в селекции зерновых культур. *Письма в Вавиловский журнал генетики и селекции*. 2024;10(2):111-118. DOI 10.18699/letvjgb-2024-10-13

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

Review

The unique Siberian gene pool of rye and its use in the breeding of cereals

N.N. Ermoshkina , A.A. Salamatina, G.V. Artemova, K.K. Musinov , A.S. Surnachev, P.I. Stepochkin

Abstract: The article presents data on the study and use of the Siberian rye gene pool to produce varieties of winter rye, aimed to obtain winter triticale and transgressive forms of winter common wheat that exceed the standard varieties in terms of yield and other economically important traits and properties. As a result of breeding work, competitive varieties of winter rye of two ploidy levels (2n = 14, 2n = 28) have been created, combining in one genotype high winter hardiness, lodging resistance, yield, grain quality, as well as adaptability to biotic and abiotic stresses. The most promising variety for use in the breeding process under Siberian conditions is the winter rye variety Korotkostebel'naya 69. By transferring it to the tetraploid level, a winter-hardy, productive, lodging-resistant variety Tetra korotkaya was created, zoned in the West Siberian and East Siberian regions. The use of the Korotkostebel'naya 69 variety in distant hybridization made it possible to obtain winter-hardy short-stem winter triticale varieties Sears 57 and Tsekad 90 with a productivity of over 6.0 t/ha. Based on the triticale breeding line LMK 462, which includes the Korotkostebel'naya 69 rye variety in its pedigree, a winter soft wheat variety, Novosibirskaya 3, with an increased level of winter resistance, was produced.

Key words: breeding; rye; triticale; wheat; cultivars.

For citation: Ermoshkina N.N., Salamatina A.A., Artemova G.V., Musinov K.K., Surnachev A.S., Stepochkin P.I. The unique Siberian gene pool of rye and its use in the breeding of cereals. *Pisma v Vavilovskii Zhurnal Genetiki i Seleksii* = *Letters to Vavilov Journal of Genetics and Breeding*. 2024;10(2):111-118. DOI 10.18699/letvjgb-2024-10-13 (in Russian)

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

Сибирский научно-исследовательский институт растениеводства и селекции – филиал Федерального исследовательского центра «Институт 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

 natali.erm@bk.ru © Ермошкина Н.Н., Саламатина А.А., Артёмова Г.В., Мусинов К.К., Сурначев А.С., Стёпочкин П.И., 2024

Введение

Рожь (*Secale cereale* L.) – важная сельскохозяйственная культура, которая обладает высоким потенциалом продуктивности и уникальными кормовыми, пищевыми и техническими качествами. Как источник питания наиболее ценно зерно ржи: оно содержит полноценные белки, незаменимые аминокислоты, крахмал, витамины, микроэлементы и некрахмальные полисахариды (пентозаны) (Полонский и др., 2018).

Возделывают рожь, прежде всего, в России, Германии, Польше, Беларуси, Украине, Швеции, Дании, Норвегии, Китае, Канаде и США. В последнее время посевные площади под культурой в мире сокращаются, только в Российской Федерации за период 2000–2021 гг. посевные площади уменьшились с 3.5–4.0 до 1.5 млн га (Петрова и др., 2023). Основным ржаносеющим регионом в России является Приволжский федеральный округ, где сосредоточено более 78 % всех посевных площадей этой культуры. Доля остальных федеральных округов в структуре ржаного клина составляет: Южный – 7.7 %, Центральный – 7.2 %, Сибирский – 5.3 %, Уральский – 1.5 %. Незначительные площади заняты под посевы в Северо-Западном, Северо-Кавказском и Дальневосточном федеральных округах (Сафонова и др., 2019).

Западная Сибирь – один из крупных регионов Российской Федерации по производству зерна. Основные посевы сельскохозяйственных культур этого региона сосредоточены в степной и лесостепной зонах, которые отличаются сильной контрастностью климата и резкими колебаниями метеорологических элементов погоды, что обуславливает значительную изменчивость урожайности и валовых сборов (Чекусов, 2020а). Важная роль в стабилизации производства высококачественного зерна озимой ржи в условиях Сибири отводится селекции и семеноводству.

В основе селекции любой сельскохозяйственной культуры лежит разнообразие генетического материала. Генетические ресурсы рода *Secale* L. представлены в мировых коллекциях в количестве 22.2 тыс. образцов (Шлегель, 2015). Сравнительно небольшие размеры коллекции ржи по сравнению с другими зерновыми культурами связаны со сложностью поддержания образцов в чистоте в генных банках, так как рожь относится к аллогамным (перекрёстноопыляющимся) растениям. Поэтому природные популяции ржи представлены преимущественно гетерозиготными растениями. Крупнейший генный банк ржи в мире – Всероссийский институт генетических ресурсов растений им. Н.И. Вавилова (ВИР) (Россия), он насчитывает 3260 сортообразцов. Коллекция ВИР включает сортовые и другие популяции культурной, сорно-полевой и дикорастущей ржи (Войлоков и др., 2018; Сафонова и др., 2019).

В настоящем обзоре отражены направления формирования уникального сибирского генофонда озимой ржи и его использование в создании новых селекционных форм с хозяйственно ценными признаками и свойствами на основе отдаленной гибридизации.

Селекция диплоидной ржи

Важность ржи для сельского хозяйства России и ряда других стран обусловила ряд исследований, изучающих генетическое разнообразие и структуру популяций ржи (Rabanus-

Wallace et al., 2021; Урбан и др., 2022). На первых этапах селекционная работа с этой культурой в Сибири имела важное значение из-за отсутствия стабильности получения урожая, вследствие частичной и полной гибели посевов при перезимовке. Исследования процесса закаливания растений, а также динамики признака «морозостойкость» при различной высоте снежного покрова показали, что успешность перезимовки озимой ржи в Сибири определяет уровень ее морозостойкости (Артёмова, 2007). Успешная перезимовка растений ржи связана также с устойчивостью генотипа к низким температурам, длительным анабиозом в зимний период и сохранностью растений.

Основным методом селекции являлся индивидуальный отбор. Поэтому был проведен отбор из местных популяций, которые длительное время возделывали в климатических условиях Сибирского региона, что способствовало естественному отбору мелкосемянных, уникальных по морозо- и зимостойкости форм, длинностебельных и лежащих к периоду созревания (Артёмова, 1999). В результате массового отбора из популяции, полученной при свободном переопылении местных сортов с немецким сортом ржи Шлентитедский, выведен и районирован с 1939 г. сорт Омка, который отличался высокой зимостойкостью, урожайностью 41.5 ц/га и длинностебельностью (Гончаров, 2009).

Дальнейшая селекционная работа была тесно связана с созданием короткостебельных сортов из диплоидных форм ржи для повышения устойчивости к полеганию. При изучении наследования высоты растений озимой ржи были выявлены гены короткостебельности. Наиболее распространен и часто используется в селекции ген короткостебельности *Ddw1* (*Dominant dwarf*), который был обнаружен у естественного мутанта ржи EM-1 (Кобылянский, 1971) и локализован на длинном плече хромосомы 5R (Korzun et al., 1996; Tenhola-Roininen, Tanhuanpää, 2010). Изначально ему дали название *Hl* (от лат. – *humilus*), однако позже переименовали в *Ddw1*. Помимо снижения высоты доминантный ген *Ddw1* обеспечивает существенное повышение урожайности этой культуры благодаря плеiotропному влиянию на многие хозяйственно ценные признаки, а именно: увеличивает длину колоса, число цветков и зерен в колосе, кустистость растений, мощность их корневой системы и площадь листовой поверхности (Кобылянский, 2007; Гончаренко и др., 2019). Возделывание короткостебельных сортов ржи с доминантным геном *Ddw1*, по данным ГСУ, снижает затраты на выращивание 1 га посева на 24 % (Федин, 1984).

У болгарского мутанта ржи K-10028 был обнаружен доминантный ген короткостебельности *Ddw2* (Кобылянский, 1972). Он расположен на хромосоме 7R (Melz, 1989) и, как и ген *Ddw1*, чувствителен к экзогенному внесению гиббереллиновой кислоты (Börner, Melz, 1988; Börner et al., 1996). Установлено также, что использование доноров с доминантными генами влечет за собой удлинение вегетационного периода (Лисунова, Сергеева, 2001). Для создания неполегающих популяций озимой ржи в СибНИИРС – филиале ИЦиГ СО РАН использовали донор с доминантным контролем короткостебельности – Болгарская низкостебельная (K-10028). На основе популяции K-10028×Омка проведено двукратное насыщающее скрещивание сортом Омка с

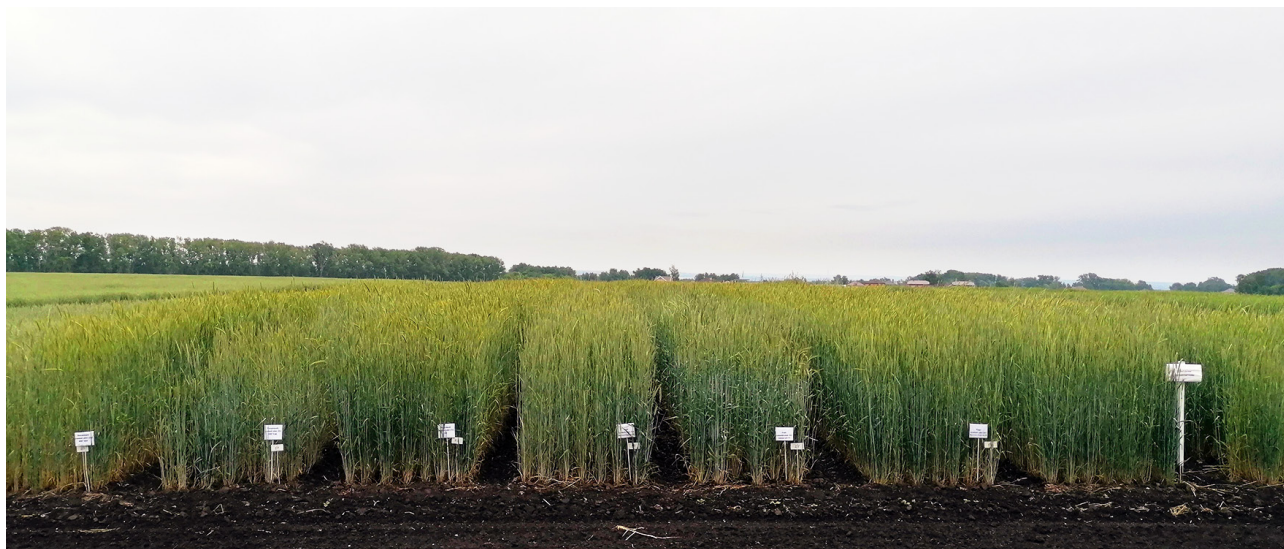


Рис. 1. Питомник конкурсного сортоиспытания диплоидной озимой ржи

Fig. 1. The crops of the nursery of the competitive variety testing of diploid winter rye

последующим индивидуально-семейственным отбором. В результате был создан сорт диплоидной ржи Короткостебельная 69, который внесен в Государственный реестр РФ в 1985 г. по Западно-Сибирскому и Дальневосточному регионам¹. Сорт имел ряд ценных свойств: высокие морозо- и зимостойкость, урожайность 4.1 т/га, устойчивость к полеганию (рис. 1).

Селекция тетраплоидной ржи

После широкого изучения метода полиплоидии растений стало возможным получение новых полиплоидных сортов сельскохозяйственных культур, отличающихся высокими показателями урожайности (Бородкина, 2021). Для решения проблемы мелкозерности сортов диплоидной ржи ($2n = 14$) селекционеры стали переводить их на тетраплоидный уровень ($2n = 28$). У тетраплоидных форм увеличиваются клетки в 1.5–2.0 раза, что ведет к изменению ряда хозяйственно ценных свойств и признаков. Наблюдается увеличение массы растения, зерна, диаметра и толщины стенок соломины, вследствие чего повышается урожайность и устойчивость к полеганию (Мухин, Пугачева, 1967). Среди отрицательных изменений следует отметить увеличение размера пыльцевых зерен, которое приводит к ухудшению перекрестного опыления растений ржи (понижению фертильности) и череззернице в колосе, которая связана с уменьшением озерненности (Попова, 1991).

Особенность сибирского экотипа озимой ржи – высокая морозо- и зимоустойчивость, а также мелкозерность. Масса 1000 зерен диплоидной ржи не превышала 24 г с колоса, а в неблагоприятные засушливые годы имела тенденцию к снижению (Артёмов, 2007). Попытки увеличить размеры зерна путем гибридизации сибирских сортов с европейски-

ми приводили к снижению морозостойкости гибридного материала. После ряда пересевов естественный отбор возвращал гибридные популяции к исходному сибирскому экотипу. При совместной работе В.К. Шумного, И.С. Поповой с Н.С. Владимировым была разработана методика массового получения полиплоидных форм, позволяющая сохранить генетический состав популяций ржи на тетраплоидном уровне и уменьшить череззерницу у полиплоидных растений за счет создания массива пыльцы в популяции C_0 (Артёмов, 1999). На тетраплоидный уровень были переведены сорта Удинская, Бурятская, Долинская, Омка, Вятка, Чулпан, Волжанка, Харьковская 60, Комбайнин и др. Изучение признаков морозо- и зимостойкости вновь полученных популяций позволило выявить параллелизм изменчивости этих признаков на двух уровнях плоидности. Сибирские формы на тетраплоидном уровне имели высокий уровень сохранности растений после перезимовки и промораживания в холодильных камерах. В 1977–1980 гг. на Государственное испытание были переданы сорта Тетра-Вятка, Тетра-Омка, Тетра-Удинская, Октябрьская 65 (Долинская). Сорт Тетра-Вятка был внесен в Государственный реестр в 1980 г. по Западно-Сибирскому региону. Существенным недостатком полученных тетраплоидных форм была длинная соломина (до 170–180 см) и полегание к периоду созревания, что усложняло уборочные работы и приводило к существенной потере урожайности (Владимиров, 1968; Генетические методы..., 1992).

Поэтому метод автополиплоидии начали сочетать с привлечением в скрещивание источников доминантного типа короткостебельности, что определило новое направление в селекции неполегающих, зимостойких и продуктивных форм ржи, отвечающих требованиям производства. В результате продолжительной селекционной работы на основе удвоения числа хромосом сорта Короткостебельная 69 получена короткостебельная тетраплоидная популяция, из

¹ Реестр селекционных достижений. ФГБУ «ГОССОРТКОМИССИЯ», 2023 [Обновлено 20.10.2023; процитировано 20.10.2023]. Доступно: <https://gossortrf.ru/registry/>



Рис. 2. Колос и зерно тетраплоидного сорта озимой ржи Тетра короткая (слева) и диплоидного сорта Короткостебельная 69 (справа)

Fig. 2. Ear and grains of the tetraploid variety of winter rye Tetra korotkaya (left) and diploid variety Korotkostebel'naya 69 (right)

которой методом клоновых отборов создан сорт озимой ржи Тетра короткая, включенный в Государственный реестр в 1985 г. по Западно-Сибирскому и Восточно-Сибирскому регионам (Артёмова, 2001). Сорт сохранил свойства морозо- и зимостойкости, устойчивости к полеганию, в то же время увеличилась масса 1000 зерен, превысившая исходный диплоидный сорт по этому показателю в 1.5–2.0 раза, что существенно повысило урожайность до 6 т/га (рис. 2) (Артёмова, 2007).

В 2007 г. внесен в Государственный реестр РФ по Западно-Сибирскому региону тетраплоидный сорт озимой ржи Влада, который создан путем перевода на тетраплоидный уровень диплоидного сорта Чулпан, с последующим индивидуально-семейственным отбором. Средняя урожайность сортов озимой ржи Тетра короткая и Влада на сортоучастках Новосибирской области варьирует от 3.2 до 6.0 т/га, масса 1000 зерен составляет 34.0–42.0 г, зимостойкость 4.2–4.6 балла. Максимальная урожайность 6.3 т/га получена на Маслянинском ГСУ в 2000 г. Сорта Влада и Тетра короткая занимают до 80 % посевных площадей озимой ржи в Новосибирской области, а также широко возделываются в хозяйствах Томской и Кемеровской областях, Алтайском и Красноярском краях (Артёмова и др., 2016). По данным Россельхозцентра РФ, тетраплоидные сорта ржи СибНИИРС – филиала ИЦиГ СО РАН в 2021 г. вошли в рейтинг 10 сортов-

лидеров сельскохозяйственных культур по объемам высева в Российской Федерации².

Перевод на тетраплоидный уровень местных высокозимостойких и морозостойких сортов ржи позволил решить проблему улучшения продуктивности сортов сибирского экотипа за счет увеличения крупности зерна. В настоящее время широкое распространение получила гибридизация тетраплоидных сортов между собой, при этом в качестве материнской формы используют сорта, приспособленные к местным условиям произрастания, а в качестве отцовской – сорта разного эколого-географического происхождения. В Омском аграрном научном центре при создании сорта Сибирь родительскими компонентами были сорта Тетра короткая, Шатиловская тетра и местная репродукция сорта Белта. Особенностью сорта Сибирь являются высокие показатели зимостойкости и качества зерна. Его урожайность была на уровне стандарта Тетра короткая. В последующем был получен сорт Сибирь 4 [Тетра короткая × (Сибирь × Сибирь 3)]. Сорт отличался высокой зимостойкостью и урожайностью (6.72 т/га) (Чекусов, 2020б). Новые тетраплоидные сорта включены в Государственный реестр по Западно-Сибирскому региону в 1999 и 2016 г. соответственно.

² Рейтинг 10 сортов (гибридов)-лидеров сельскохозяйственных культур по объемам высева в Российской Федерации. Россельхозцентр; 2023 [Обновлено 20.03.2023; процитировано 20.03.2023]. Доступно: https://rosselhoccenter.ru/files/users/42/Moskva/inf_list/2022/Информационный_листок__2_b4243.pdf

Селекция зернофуражной ржи

Большинство сортов ржи на территории России относится к категории хлебопекарных с высоким содержанием пентозанов. Зернофуражная рожь в отличие от хлебопекарной должна иметь низкое содержание пентозанов, особенно его водорастворимой фракции (Гончаренко, 2016). Задачи селекции ржи на зернофуражную и хлебопекарную пригодность не совпадают, поэтому необходимо создавать сорта и гибриды, пригодные не только для хлебопечения, но и для использования на корм животным. В коллекции ржи ВИР был проведен поиск источников низкого содержания водорастворимых пентозанов в зерне с использованием оригинального метода клоновых половинок с последующей биохимической оценкой зерна у каждого генотипа. В результате исследования была сформирована популяция из диплоидных сортов ржи Чулпан, Мининская, Енисейка, Короткостебельная 69 с низким содержанием пентозанов (Кобылянский, Солодухина, 2013). Из полученной диплоидной популяции с низким содержанием пентозанов в СибНИИРС – филиале ИЦиГ СО РАН проводится селекционная работа по созданию сортов озимой ржи нового поколения со значительным снижением количества пентозанов в зерне при сохранении хозяйственно ценных признаков и свойств. Создана популяция Новосибирская 17, которая имеет низкое содержание водорастворимых пентозанов (0.5–0.8 %) в зерне. В Красноярском научном центре СО РАН на основе полученного материала В.Д. Кобылянского были созданы зернофуражные (низкопентозановые) сорта диплоидной ржи – Красноярская универсальная и Тагна, которые включены в реестр по Восточно-Сибирскому региону в 2018 и 2023 г. соответственно (Тимина, Плеханова, 2016).

Использование ржи в селекции тритикале

Рожь активно используют в программах по селекции зерновых культур, особенно в межвидовой интрогрессии (Гриб и др., 2014). Благодаря объединению ржи и пшеницы была создана новая зерновая культура тритикале (*× Triticosecale* Witmack) (Rimpau, 1891; Würschum et al., 2014).

В ряде случаев гибридные растения имели «промежуточные» признаки и описаны Г.К. Мейстером как нелегитимный ботанический вид *Triticum Secalotriticum saratoviense* Meister (Meister, 1921; Левитский, 1978). Полученные линии тритикале с добавлениями и замещениями хромосом пшеницы хромосомами ржи служат источниками желаемых признаков и хорошей моделью для изучения генов и структурной организации отдельных хромосом ржи (Evtushenko et al., 2019).

В зависимости от плоидности различают окта- и гексаплоидные тритикале. Октаплоидные тритикале ($2n = 56$) получают скрещиванием гексаплоидных пшениц, в основном мягкой пшеницы *Triticum aestivum* L., с рожью в основном *S. cereale* L. и последующего удвоения числа хромосом у гибридов. Из-за пониженной озерненности колоса сорта октаплоидных тритикале в сельскохозяйственном производстве не используются (Сечняк, Сулима, 1984; Емцева, 2020). В СибНИИРС – филиале ИЦиГ СО РАН в 1981 г. получен гибрид F_1 [(Лютесценс 43 × Мироновская 808) × Короткостебельная 69]. В дальнейшем проростки этого гибрида F_1 обрабатывали водным раствором колхицина для создания

тритикале. Полученная тритикале отличалась цитогенетической нестабильностью. В 1989 г. было выделено элитное растение тритикале с гексаплоидным набором хромосом, давшее впоследствии селекционную линию ЛМК 462 (Стёпочкин, 2009). С помощью дифференциального окрашивания хромосом по С-бандингу в кариотипе линии ЛМК 462 определили 28 хромосом пшеницы и 14 хромосом ржи (Стёпочкин, 2012, 2023).

Гексаплоидные тритикале ($2n = 42$) получают при скрещивании 28-хромосомных пшениц (в основном твердой пшеницы *T. durum* Desf.) с рожью *S. cereale* L. с последующим удвоением числа хромосом. Эти формы отличаются более высокой цитологической стабильностью и фертильностью по сравнению с октаплоидными (Lukaszewski, Gustafson, 1987). В СибНИИРС – филиале ИЦиГ СО РАН П.И. Стёпочкиным созданы два озимых короткостебельных сорта зернофуражного направления – Цекад 90 и Сирс 57. Цекад 90 получен методом индивидуального отбора из комбинации скрещивания [(Краснодарская 39 × Цезиум 39) × Короткостебельная 69] × АД 3/5, который включен в Государственный реестр в 2005 г. по Западно-Сибирскому региону (Стёпочкин, Филатов, 2008). В дальнейшем был создан сорт Сирс 57 из этой же гибридной комбинации с последующим индивидуальным отбором и включен в Государственный реестр в 2009 г. по Западно-Сибирскому региону. Данные сорта характеризуются высокой зимостойкостью, устойчивостью к полеганию, с уровнем продуктивности 4.0–6.0 т/га. Включение в гибридизацию короткостебельного сорта ржи, несущего доминантный ген короткостебельности *HI* (*Ddw2*), позволило снизить длину соломины на 40–50 см как октаплоидных, так и вторичных гексаплоидных форм тритикале (Артёмов, Стёпочкин, 2009). По данным Россельхозцентра РФ, сорт озимой тритикале Сирс 57 входит в рейтинг 10 сортов лидеров сельскохозяйственных культур по объемам высева в Российской Федерации.

Для повышения хозяйственно ценных свойств пшеницы в качестве источника признаков возможно использовать генетический материал ржи *Secale cereale* L. Присутствие лишь одной хромосомы ржи в геноме пшеницы вызывает различные структурные изменения в кариотипе (Силкова и др., 2014; Иванова и др., 2019). Проводили скрещивания тритикале с пшеницей и получали новые линии пшеницы с замещениями пшеничных хромосом на ржаные. У мягкой пшеницы обнаружены основные транслокации: пшенично-ржаная транслокация *1RS.1BL* и *1RS.1AL* и пшенично-ржаное замещение *1R(1B)* (Моцный и др., 2012). По данным R. Schlegel и V. Korzun (1997) получено более 650 сортов мягкой пшеницы с транслокацией *1RS.1BL* или замещением *1R(1B)*, причем среди них с замещением *1R(1B)* лишь около 20 сортов. Хромосома ржи *1R* и ее короткое плечо *1RS* способны полностью компенсировать отсутствие гомеологичных хромосом (плеч) пшеницы у пшенично-ржаных замещенных и транслоцированных форм, обеспечивая цитогенетическую стабильность и высокую фертильность у растений. Наибольшее распространение у сортов мягкой пшеницы получила пшенично-ржаная транслокация *1RS.1BL*, которая описана в основном в сортах европейского происхождения (Yediyar et al., 2010). В зависимости от генотипической среды сорта

пшеницы, несущие транслокацию *1RS.1BL*, могут характеризоваться засухоустойчивостью, повышенной урожайностью зерна и увеличением общей биомассы (Hoffmann, 2008).

В СибНИИРС – филиале ИЦиГ СО РАН проведены исследования по созданию сорта озимой мягкой пшеницы Новосибирская 3, несущего пшенично-ржаную транслокацию хромосомы ржи 1R на длинное плечо хромосомы пшеницы 1B. Этот сорт пшеницы получен от скрещивания линии озимой пшеницы Филатовка [(Краснодарская 39 × *Ag. glaucum* × Юбилейная 50) с гексаплоидной тритикале ЛМК 462 [(Лютесценс 43 × Мироновская 808) × Короткостебельная 69] и включен в Государственный реестр в 2014 г. по Западно-Сибирскому и Восточно-Сибирскому регионам (Стёпочкин и др., 2012). Сорт Новосибирская 3 характеризуется повышенным уровнем зимостойкости (более 70 %) и устойчивости к поражению листостебельными патогенами (Артёмова, Лихенко, 2016). При средней урожайности зерна 47.6 ц/га сорт превосходит стандарт на 7.9 ц/га за счет лучшей продуктивной кустистости (до 5.9 шт./м²) и более крупного зерна (масса 1000 зерен 40.3 г). Растения низкорослые (105–110 см), что обуславливает большую устойчивость к полеганию (4.1 балла).

Заключение

Селекционная работа по ржи в Сибири развивалась в различных направлениях, по которым достигнуты существенные результаты и созданы конкурентоспособные ди- и тетраплоидные сорта озимой ржи, сочетающие в одном генотипе высокую зимостойкость, устойчивость к полеганию, урожайность, качество зерна, а также адаптивность к биотическим и абиотическим стрессам. Для использования в селекционном процессе в резкоконтинентальных условиях Сибири наиболее перспективен сорт озимой ржи Короткостебельная 69. Путем перевода его на тетраплоидный уровень создан зимостойкий, продуктивный, устойчивый к полеганию сорт Тетра короткая, районированный по Западно-Сибирскому и Восточно-Сибирскому регионам. Использование сорта Короткостебельная 69 в отдаленной гибридизации позволило получить зимостойкие короткостебельные сорта озимой тритикале Сирс 57 и Цекад 90 с продуктивностью свыше 6.0 т/га. На основе селекционной линии тритикале ЛМК 462, включающей в родословную сорт Короткостебельная 69, создан сорт озимой мягкой пшеницы Новосибирская 3, с повышенным уровнем зимостойкости. Рассмотренные выше примеры позволяют сделать заключение, что генофонд озимой ржи, включающий сортовые популяции зимостойких форм, служит ценным исходным материалом в селекционных программах по озимой пшенице, ржи и тритикале.

Список литературы / References

Артёмова Г.В. Влияние исходного материала на создание морозостойких форм тетраплоидной ржи. В: Генофонд сельскохозяйственных культур для селекции устойчивых сортов. Новосибирск, 1999;18-21
[Artemova G.V. The influence of the source material on the creation of frost-resistant forms of tetraploid rye. In: The gene pool of agricultural crops for breeding resistant varieties. Novosibirsk, 1999;18-21 (in Russian)]

Артёмова Г.В. Результаты и методы селекции зимостойких сортов озимой ржи в условиях Сибири. В: Новые методы селекции озимых колосовых культур. Сб. науч. тр. Уфа: БНИИСХ, 2001;107-113
[Artemova G.V. Results and methods of breeding hardy varieties of winter rye in Siberia. In: New methods of selection of winter cereal crops. Sat. scientific tr. Ufa: BNIISH, 2001;107-113 (in Russian)]

Артёмова Г.В. Результаты и методы селекции озимой ржи в условиях Западной Сибири. *Достижения науки и техники АПК*. 2007;(12):16-17
[Artemova G.V. Results and methods of winter rye breeding in Western Siberia. *Achievements of Science and Technology of Agro-Industrial Complex*. 2007;(12):16-17 (in Russian)]

Артёмова Г.В., Лихенко И.Е. Исторические аспекты и основные результаты научных исследований в СибНИИРС – филиале ИЦиГ СО РАН. *Письма в Вавиловский журнал*. 2016;2(1):23-32
[Artemova G.V., Likhenco I.E. Historical aspects and main results of scientific research at SibNIIRS – branch of ICG SB RAS. *Letters to Vavilov Journal*. 2016;2(1):23-32 (in Russian)]

Артёмова Г.В., Стёпочкин П.И. Роль Мировой коллекции ржи в создании сибирского генофонда и селекционных форм ржи и тритикале. *Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции*. 2009;166:487-492
[Artemova G.V., Stepochkin P.I. The role of the World collection of rye in Siberian gene pool and breeding forms of rye and triticale producing. *Proceedings on Applied Botany, Genetics and Breeding*. 2009;166:487-492 (in Russian)]

Артёмова Г.В., Пономаренко В.И., Стёпочкин П.И. Результаты и методы адаптивной селекции озимых культур в СибНИИРС. В: Генофонд и селекция растений. Тезисы докладов II Международной конференции, посвященной 80-летию СибНИИРС. Новосибирск: ИЦиГ СО РАН, 2016;9-10
[Artemova G.V., Ponomarenko V.I., Stepochkin P.I. Results and methods of adaptive breeding of winter crops in SibNIIRS. In: Genepool and Plant Breeding. Abstracts of the II International Conference dedicated to the 80th anniversary of SibNIIRS. Novosibirsk: ICG SB RAS, 2016;9-10 (in Russian)]

Бородкина А.Г. Полиплоидия – эффективный метод селекции. *Селекция и сорторазведение садовых культур*. 2021;8(1-2):18-20. DOI 10.24411/2500-0454-2021-10105
[Borodkina A.G. Polyploidy is an effective breeding method. *Selektiya i Sortorazvedeniye Sadovykh Kul'tur*. 2021;8(1-2):18-20. DOI 10.24411/2500-0454-2021-10105 (in Russian)]

Владимиров Н.С. Ускоренное получение растений тетраплоидной ржи. *Селекция и семеноводство*. 1968;(4):41-43
[Vladimirov N.S. Accelerated production of tetraploid rye plants. *Selektiya i Semenovodstvo*. 1968;(4):41-43 (in Russian)]

Войлоков А.В., Соснихина С.П., Тихенко Н.Д., Цветкова Н.В., Михайлова Е.И., Смирнов В.Г. Петергофская коллекция ржи и ее использование в генетических исследованиях. *Экологическая генетика*. 2018;16(2):40-49. DOI 10.17816/ecogen16240-49
[Voilokov A.V., Sosnikhina S.P., Tikhenco N.D., Tsvetkova N.V., Mikhailova E.I., Smirnov V.G. Peterhof collection of rye and its use in genetic studies. *Ecological Genetics*. 2018;16(2):40-49. DOI 10.17816/ecogen16240-49 (in Russian)]

Генетические методы в селекции растений. Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние, 1992
[Genetic methods in plant breeding. Novosibirsk: Nauka. Siberian Branch Publ., 1992 (in Russian)]

Гончаренко А.А. Новые направления в селекции озимой ржи на целевое использование. *Зернобобовые и крупяные культуры*. 2016;2(18):25-32
[Goncharenko A.A. New directions in selection of a winter rye on target use. *Legumes and Groat Crops*. 2016;2(18):25-32 (in Russian)]

Гончаренко А.А., Макаров А.В., Ермаков С.А., Семенова Т.В., Точили В.Н., Цыганкова Н.В., Скатова С.Е., Крахмалева О.А. Экологическая устойчивость сортов озимой ржи с различным типом короткостебельности. *Российская сельскохозяйственная наука*. 2019;(3):3-9. DOI 10.31857/S2500-2627201933-9
[Goncharenko A.A., Makarov A.V., Ermakov S.A., Semenova T.V., Tochilin V.N., Tsygankova N.V., Skatova S.E., Krakhmaleva O.A. Ecological stability of varieties of winter rye with various type of a short-stems.

- Russian Agricultural Science*. 2019;(3):3-9. DOI 10.31857/S2500-2627201933-9 (in Russian)]
- Гончаров П.Л. Каталог сортов сельскохозяйственных культур, созданных учеными Сибири и включенных в Госреестр РФ (районированных) в 1929–2008 гг. Вып. 4. Новосибирск, 2009 [Goncharov P.L. Catalog of agricultural varieties created by Siberian scientists and included in the State Register of the Russian Federation (zoned) in 1929–2008. Issue 4. Novosibirsk, 2009 (in Russian)]
- Гриб С.И., Белько Н.Б., Гордей И.С. Создание новых форм тетраплоидной ржи (*Secale cereale* L., $4x = 28$) с включением генетического материала пшеницы (*Triticum aestivum* L.) на основе интрогрессивной гибридизации с тритикале (*Triticosecale Wittm.*, $6x = 42$). *Земледелие и селекция в Беларуси*. 2014;(50):298-305 [Grib S.I., Belko N.B., Gordey I.S. Development of new tetraploid rye forms (*Secale cereale* L., $4x = 28$) involving wheat (*Triticum aestivum* L.) genetic material based on introgressive hybridization with triticale (*Triticosecale Wittm.*, $6x = 42$). *Zemledeliye i Seleksiya v Belarusi*. 2014;(50):298-305 (in Russian)]
- Емцева М.В. Использование генов *Vrn* для создания форм тритикале с разной продолжительностью вегетационного периода (обзор). *Сельскохозяйственная биология*. 2020;55(1):3-14. DOI 10.15389/agrobiology.2020.1.3rus [Emtseva M.V. The use of *Vrn* genes for creation of triticale forms with different length of vegetation period (review). *Sel'skokhozyaystvennaya Biologiya = Agricultural Biology*. 2020;55(1):3-14. DOI 10.15389/agrobiology.2020.1.3eng]
- Иванова Ю.Н., Соловей Л.А., Логинова Д.Б., Мирошникова Е.Е., Дубовец Н.И., Силкова О.Г. Создание и характеристика линии мягкой пшеницы с центрической транслокацией *T2DL.2RL*. *Вавиловский журнал генетики и селекции*. 2019;23(7):846-855. DOI 10.18699/VJ19.558 [Ivanova Yu.N., Solovey L.A., Loginova D.B., Miroshnikova E.E., Dubovets N.I., Silkova O.G. The creation and characterization of the bread wheat line with a centric translocation T2DL.2RL. *Vavilovskii Zhurnal Genetiki i Seleksii = Vavilov Journal of Genetics and Breeding*. 2019;23(7):846-855. DOI 10.18699/VJ19.558 (in Russian)]
- Кобылянский В.Д. Новый источник короткостебельности для селекции неполегающей ржи. *Вестник сельскохозяйственной науки*. 1971;(9):58-62 [Kobylyansky V.D. A new source of short-stem for breeding non-growing rye. *Bulletin of Agricultural Science*. 1971;(9):58-62 (in Russian)]
- Кобылянский В.Д. К генетике доминантного фактора короткостебельности у ржи. *Генетика*. 1972;8(2):12-17 [Kobylyansky V.D. On genetics of the dominant factor of short-stawed rye. *Genetika*. 1972;8(2):12-17 (in Russian)]
- Кобылянский В.Д. Новые селекционные признаки озимой ржи. В: Генетические ресурсы культурных растений в XXI веке: состояние, проблемы, перспективы. СПб.: ВИР, 2007:476-477 [Kobylyansky V.D. New breeding characteristics of winter rye. In: Genetic resources of cultivated plants in the XXI century: state, problems, prospects. St. Petersburg: VIR, 2007:476-477 (in Russian)]
- Кобылянский В.Д., Солодухина О.В. Теоретические основы селекции зернофуражной ржи с низким содержанием водорастворимых пентозанов. *Сельскохозяйственная биология*. 2013;48(2):31-39. DOI 10.15389/agrobiology.2013.2.31rus [Kobylyansky V.D., Solodukhina O.V. Theoretical foundations of the breeding of grain rye with a low content of water-soluble pentosans. *Sel'skokhozyaystvennaya Biologiya = Agricultural Biology*. 2013;48(2):31-39. DOI 10.15389/agrobiology.2013.2.31rus (in Russian)]
- Левитский Г.А. К истории плодовых промежуточных константных пшенично-ржаных гибридов. В: Левитский Г.А. Цитогенетика растений. М.: Наука, 1978:251-253 [Levitsky G.A. On the history of prolific intermediate constant wheat-rye hybrids. In: Levitsky G.A. Cytogenetics of Plants. M.: Nauka Publ., 1978:251-253 (in Russian)]
- Лисунова С.И., Сергеева О.С. Селекция озимой ржи в Красноярском крае. В: Новые методы селекции озимых колосовых культур. Сб. науч. тр. Уфа: БНИИСК, 2001:71-80 [Lisunova S.I., Sergeeva O.S. Selection of winter rye in the Krasnoyarsk region. In: New methods of selection of winter cereal crops. Sat. scientific tr. Ufa: BNIISH, 2001:71-80 (in Russian)]
- Мощный И.И., Чеботарь С.В., Сударчук Л.В., Галаев А.В., Сиволоп Ю.М. Идентификация замены *A (1B)1R* и транслокации *1BL.1RS* в интрогрессионных линиях озимой пшеницы цитогенетическим и молекулярным методами. *Вавиловский журнал генетики и селекции*. 2012;16(1):217-223 [Motsnyy I.I., Chebotar S.V., Sudarchuk L.V., Galaev A.V., Sivolap Yu.M. Identification of *A (1B)1R* substitution and *1BL.1RS* translocation in winter wheat introgression lines by cytogenetic and molecular methods. *Vavilovskii Zhurnal Genetiki i Seleksii = Vavilov Journal of Genetics and Breeding*. 2012;16(1):217-223 (in Russian)]
- Мухин Н.Д., Пугачева Т.И. Результаты селекции озимой тетраплоидной ржи в Беларуси. *Селекция и семеноводство*. 1967;(5):39-43 [Mukhin N.D., Pugacheva T.I. Results of breeding of winter tetraploid rye in Belarus. *Seleksiya i Semenovodstvo*. 1967;(5):39-43 (in Russian)]
- Петрова А.А., Лихенко И.Е., Артёмов Г.В. Актуальность увеличения доли озимой ржи в производственных посевах Западной Сибири. *Сибирский вестник сельскохозяйственной науки*. 2023;53(3):53-62. DOI 10.26898/0370-8799-2023-3-6 [Petrova A.A., Likhenco I.E., Artemova G.V. The relevance of increasing the share of winter rye in production crops in Western Siberia. *Siberian Bulletin of Agricultural Science*. 2023;53(3):53-62. DOI 10.26898/0370-8799-2023-3-6 (in Russian)]
- Полонский В.И., Лоскутов И.Г., Сумина А.В. Селекция на содержание антиоксидантов в зерне как перспективное направление для получения продуктов здорового питания. *Вавиловский журнал генетики и селекции*. 2018;22(3):343-352. DOI 10.18699/VJ18.370 [Polonskiy V.I., Loskutov I.G., Sumina A.V. Breeding for antioxidant content in grain as a promising trend in obtaining healthy food products. *Vavilovskii Zhurnal Genetiki i Seleksii = Vavilov Journal of Genetics and Breeding*. 2018;22(3):343-352. DOI 10.18699/VJ18.370 (in Russian)]
- Попова И.С. К методике определения озерненности тетраплоидной ржи. В: Цитогенетические аспекты генетики и селекции растений. Новосибирск, 1991:134-143 [Popova I.S. On the methodology for determining the lake content of tetraploid rye. In: Cytogenetic aspects of genetics and plant breeding. Novosibirsk, 1991:134-143 (in Russian)]
- Сафонова И.В., Аниськов Н.И., Кобылянский В.Д. База данных генетических ресурсов коллекции озимой ржи ВИР как средство классификации генетического разнообразия, анализа истории коллекции и эффективного изучения и сохранения. *Вавиловский журнал генетики и селекции*. 2019;23(6):150-156. DOI 10.18699/VJ19.552 [Safonova I.V., Anis'kov N.I., Kobylyansky V.D. The database of genetic resources in the VIR winter rye collection as a means of classification of genetic diversity, analyzing of the collection history and effective study and preservation. *Vavilovskii Zhurnal Genetiki i Seleksii = Vavilov Journal of Genetics and Breeding*. 2019;23(6):150-156. DOI 10.18699/VJ19.552 (in Russian)]
- Сечняк Л.К., Сулима Ю.Г. Тритикале. М., 1984 [Sechnyak L.K., Sulima Yu.G. Triticale. Moscow, 1984 (in Russian)]
- Силкова О.Г., Логинова Д.Б., Иванова (Кабаненко) Ю.Н., Бондаревич Е.Б., Соловей Л.А., Штык Т.И., Дубовец Н.И. Интрогрессия хроматина ржи в геном мягкой пшеницы: цитогенетические аспекты. *Вавиловский журнал генетики и селекции*. 2014;18(4-1):630-642 [Silkova O.G., Loginova D.B., Ivanova (Kabanenko) Yu.N., Bondarevich E.B., Solovei L.A., Shtyk T.I., Dubovets N.I. Rye chromatin introgression in the bread wheat genome: cytogenetic aspects. *Vavilovskii Zhurnal Genetiki i Seleksii = Vavilov Journal of Genetics and Breeding*. 2014;18(4-1):630-642 (in Russian)]
- Стёпочкин П.И. Внутривидовая классификация октаплоидных тритикале. *Сибирский вестник сельскохозяйственной науки*. 2009;7(199):23-29 [Stepochkin P.I. Intraspecific classification of octoploid triticales subspecies. *Siberian Bulletin of Agricultural Science*. 2009;7(199):23-29 (in Russian)]
- Стёпочкин П.И. Создание и селекционное использование генофонда пшеницы и тритикале в СибНИИРС. *Вавиловский журнал генетики и селекции*. 2012;16(1):33-36 [Stepochkin P.I. The development of a gene pool of wheat and triticale

- and its use in breeding. *Vavilovskii Zhurnal Genetiki i Selekcii* = *Vavilov Journal of Genetics and Breeding*. 2012;16(1):33-36 (in Russian)]
- 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 [Stepochkin P.I. Some peculiarities of triticales made by different ways. *Letters to Vavilov Journal of Genetics and Breeding*. 2023;9(3):126-131. DOI 10.18699/LettersVJ-2023-9-16 (in Russian)]
- Стёпочкин П.И., Филатов В.И. Характеристика и питательная ценность зерна озимой тритикале Цекад 90. *Сибирский вестник сельскохозяйственной науки*. 2008;(2):47-53 [Stepochkin P.I., Filatov V.I. Characteristic and grain nutritive value of the Tsecad 90 of winter triticales. *Siberian Bulletin of Agricultural Science*. 2008;(2):47-53 (in Russian)]
- Стёпочкин П.И., Пономаренко В.И., Першина Л.А., Осадчая Т.С., Трубаچهва Н.В. Использование отдалённой гибридизации для создания селекционного материала озимой пшеницы. *Достижения науки и техники АПК*. 2012;(6):37-38 [Stepochkin P.I., Ponomarenko V.I., Pershina L.A., Osadchaya T.S., Trubacheeva N.V. Utilization of distant hybridization for development of breeding material of winter wheat. *Achievements of Science and Technology of the Agro-Industrial Complex*. 2012;(6):37-38 (in Russian)]
- Тимина М.А., Плеханова Л.В. Результаты изучения перспективного сортономера озимой ржи Красноярская универсальная. *Достижения науки и техники АПК*. 2016;30(6):29-31 [Timina M.A., Plekhanova L.V. Results of the study of a promising variety of winter rye Krasnoyarskaya universalnaya. *Achievements of Science and Technology of Agro-Industrial Complex*. 2016;30(6):29-31 (in Russian)]
- Урбан Э.П., Гордей С.И., Артюх Д.Ю., Гордей И.С. Направления, методы и результаты селекции ржи (*Secale cereale* L.) в Беларуси. *Весті Нацыянальнай акадэміі навук Беларусі. Серыя аграрных навук*. 2022;60(2):160-170. DOI 10.29235/1817-7204-2022-60-2-160-170 [Urban E.P., Hardzei S.I., Artjuk D.U., Hardzei I.S. Directions, methods and results of rye (*Secale cereale* L.) breeding in Belarus. *Proceedings of the National Academy of Sciences of Belarus. Agrarian Series*. 2022;60(2):160-170 (in Russian)]
- Федин М.А. Государственное сортоиспытание на современном этапе: итоги, задачи, проблемы. *Селекция и семеноводство*. 1984;(6):2-7 [Fedin M.A. State variety testing at the present stage: results, tasks, problems. *Selekcija i Semenovodstvo*. 1984;(6):2-7 (in Russian)]
- Чекусов М.С. История и перспективы развития селекционно-семеноводческого центра ФГБНУ «Омский АНЦ» в юбилейной ретроспективе. *Достижения науки и техники АПК*. 2020a;34(10):5-8 [Chekusov M.S. History and prospects of development of the breeding and seed-growing center of the Omsk ANC in the anniversary retrospective. *Achievements of Science and Technology of Agro-Industrial Complex*. 2020a;34(10):5-8 (in Russian)]
- Чекусов М.С. Сорта сельскохозяйственных культур селекции ФГБНУ «Омский АНЦ»: каталог. Омск, 2020b [Chekusov M.S. Varieties of agricultural crops of the Federal State Budgetary Institution «Omsk ASC»: catalog. Omsk, 2020b (in Russian)]
- Шлегель Р. Селекция гибридных форм как стимул развития молекулярно-генетических исследований у ржи. *Вавиловский журнал генетики и селекции*. 2015;19(5):589-603. DOI 10.18699/VJ15.076 [Shlegel R. Hybrid breeding boosted molecular genetics in rye. *Vavilovskii Zhurnal Genetiki i Selekcii* = *Vavilov Journal of Genetics and Breeding*. 2015;19(5):589-603. DOI 10.18699/VJ15.076 (in Russian)]
- Börner A., Melz G. Response of rye genotypes differing in plant height to exogenous gibberellic acid application. *Arch. Züchtungsforsch.* 1988;18(2):71-74
- Börner A., Plaschke J., Korzun V., Worland A.J. The relationships between the dwarfing genes of wheat and rye. *Euphytica*. 1996;89(1):69-75. DOI 10.1007/bf00015721
- Evtushenko E.V., Lipikhina Y.A., Stepochkin P.I., Vershinin A.V. Cytogenetic and molecular characteristics of rye genome in octoploid triticales ($\times$ *Triticosecale* Wittmack). *Comp. Cytogenet.* 2019;13(4):423-434. DOI 10.3897/CompCytogen.v13i4.39576
- Hoffmann B. Alteration of drought tolerance of winter wheat caused by translocation of rye chromosome segment 1RS. *Cereal Res. Commun.* 2008;36(2):269-278. DOI 10.1556/CRC.36.2008.2.7
- Korzun V., Meltz G., Börner A. RFLP mapping of the dwarfing (*Ddw1*) and hairy peduncle (*Hp*) genes on chromosome 5 of rye (*Secale cereale* L.). *Theor. Appl. Genet.* 1996;92(8):1073-1077. DOI 10.1007/BF00224051
- Lukaszewski A.J., Gustafson J.P. Cytogenetics of triticales. In: Janick J. (Ed.). *Plant Breeding Reviews*. Volume 5. Wiley, 1987;41-93. DOI 10.1002/9781118061022.ch3
- Meister G.K. Natural hybridization of wheat and rye in Russia. *J. Hered.* 1921;12(10):467-470. DOI 10.1093/oxfordjournals.jhered.a102049
- Melz G. *Beiträge zur Genetik des Roggens (Secale cereale L.)*. Diss. B, AdL der DDR. Berlin, 1989
- Rabanus-Wallace M.T., Hackauf B., Mascher M., Lux T., Wicker T., Gundlach H., Baez M., Houben A., Mayer K.F.X., Guo L., Poland J., Pozniak C.J., Walkowiak S., Melonek J., Praz C.R., Schreiber M., Budak H., Heuberger M., Steuernagel B., Wulff B., Börner A., Byrns B., Čížková J., Fowler D.B., Fritz A., Himmelbach A., Kaithakottil G., Keilwagen J., Keller B., Konkin D., Larsen J., Li Q., Myśków B., Padmarasu S., Rawat N., Sesiz U., Biyiklioglu-Kaya S., Sharpe A., Šimková H., Small I., Swarbreck D., Toegelová H., Tsvetkova N., Voylovok A.V., Vrána J., Bauer E., Bolibok-Bragoszewska H., Doležel J., Hall A., Jia J., Korzun V., Laroché A., Ma X.F., Ordon F., Özkan H., Rakoczy-Trojanowska M., Scholz U., Schulman A.H., Siekmann D., Stojalowski S., Tiwari V.K., Spannagl M., Stein N. Chromosome-scale genome assembly provides insights into rye biology, evolution and agronomic potential. *Nat. Genet.* 2021;53(4):564-573. DOI 10.1038/s41588-021-00807-0
- Rimpau W. Kreuzungsprodukte landwirtschaftlicher Kulturpflanzen. *Landwirtschaftliche Jahrbücher*. 1891;22:335-371
- Schlegel R., Korzun V. About the origin of 1RS.1BL wheat-rye chromosome translocations from Germany. *Plant Breeding*. 1997;116(6):537-540. DOI 10.1111/j.1439-0523.1997.tb02186.x
- Tenhola-Roininen T., Tanhuanpää P. Tagging the dwarfing gene *Ddw1* in a rye population derived from doubled haploid parents. *Euphytica*. 2010;172:303-312. DOI 10.1007/s10681-009-9982-8
- Würschum T., Liu W., Alheit K.V., Tucker M.R., Gowda M., Weissmann E.A., Hahn V., Maurer H.P. Adult plant development in triticales ($\times$ *Triticosecale* Wittmack) is controlled by dynamic genetic patterns of regulation. *G3 (Bethesda)*. 2014;4(9):1585-1591. DOI 10.1534/g3.114.012989
- Yediy F.E., Baloch F.S., Kilian B., Özkan H. Testing of rye-specific markers located on 1RS chromosome and distribution of 1AL.RS and 1BL.RS translocations in Turkish wheat (*Triticum aestivum* L., *T. durum* Desf.) varieties and landraces. *Genet. Resour. Crop Evol.* 2010;57(1):119-129. DOI 10.1007/s10722-009-9456-9

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Поступила в редакцию 22.11.2023. После доработки 04.03.2024. Принята к публикации 15.03.2024.