

 pismavavilov.ru

doi 10.18699/letvjgb-2025-11-13

Оригинальное исследование

Результаты сравнительной оценки исходных диплоидных сортов ржи и их тетраплоидных аналогов в Западной Сибири

Н.Н. Ермошкина 

Аннотация: В настоящее время особый интерес представляет установление влияния удвоения числа хромосом на селекционно значимые признаки в процессе селекции. В 2018–2021 гг. проведены полевые и лабораторные исследования с целью сравнительной оценки по хозяйственно ценным признакам и свойствам исходных диплоидных сортов ржи и полученных на их основе тетраплоидных аналогов в условиях Западной Сибири. Материалом для исследования послужили две пары аналогов: диплоидные сорта Короткостебельная 69 и Чулпан и их тетраплоидные формы Тетра короткая и Влада. Сравнительный анализ показал сходство признаков по высоте и зимостойкости растений при переходе с диплоидного на тетраплоидный уровень, так как наследование этих признаков носит полигенный характер, что благоприятно влияет на устойчивость растений к стрессу. У тетраплоидных аналогов отмечено достоверное увеличение урожайности на 17.2–23.5 % и крупности зерна в 1.2–1.5 раза. Следовательно, удвоение числа хромосом приводит к выраженности изменчивости признака урожайности и массы 1000 зерен. Кроме того, наблюдалось повышение массы зерна с колоса на 0.07–0.72 г и массы зерна с растения на 1.08–1.83 г, что в конечном итоге повысило урожайность по сравнению с исходными диплоидными формами. Установлено нежелательное влияние удвоения числа хромосом на такие признаки, как озерненность, продуктивная кустистость, натура зерна, число падения и вегетационный период. Таким образом, результаты исследования свидетельствуют о том, что полиплоидизация у ржи повышает эффективность использования в сельскохозяйственном производстве тетраплоидных сортов озимой ржи в условиях Западной Сибири благодаря высоким показателям зимостойкости, устойчивости к полеганию, урожайности и крупности зерна.

Ключевые слова: озимая рожь; полиплоидия; изменчивость; признак

Для цитирования: Ермошкина Н.Н. Результаты сравнительной оценки исходных диплоидных сортов ржи и их тетраплоидных аналогов в Западной Сибири. *Письма в Вавиловский журнал генетики и селекции*. 2025;11(2):90-96. doi 10.18699/letvjgb-2025-11-13

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

Благодарности: Автор выражает искреннюю благодарность канд. биол. наук Г.В. Артемовой за помощь в работе, а также признательность рецензентам за их вклад в экспертную оценку исследования.

Original article

The results of a comparative assessment of the initial diploid rye varieties and their tetraploid analogues in Western Siberia

N.N. Ermoshkina 

Abstract: Currently, it is of particular interest to establish the effect of doubling the number of chromosomes on breeding-significant traits in the breeding process. In 2018–2021, field and laboratory studies were conducted to compare the economically valuable characteristics and properties of the original diploid rye varieties and their tetraploid analogues in Western Siberia. The material for the study was two pairs of analogues: diploid varieties Korotkostebel'naya 69 and Chulpan and their tetraploid forms Tetra Korotkaya and Vlada. As a result of the comparative analysis, during the transition from the diploid to the tetraploid level, there is a similarity of characteristics in height and winter hardiness of plants, since the inheritance of these characteristics is polygenic, which favorably affects the resistance of plants to stress. In tetraploid analogues, there is a significant increase in yield by 17.2–23.5 % and grain size

Сибирский научно-исследовательский институт растениеводства и селекции – филиал Федерального исследовательского центра Институт цитологии и генетики Сибирского отделения Российской академии наук, Новосибирск, 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, Novosibirsk, Russia

 natali.erm@bk.ru

 Ермошкина Н.Н., 2025

by 1.2–1.5 times, therefore, a doubling in the number of chromosomes significantly leads to a pronounced variability in yield and weight of 1,000 grains. In addition, there is an increase in grain weight from the ear by 0.07–0.72 g and grain weight from the plant by 1.08–1.83 g, which ultimately increases yields compared to their initial diploid forms. The undesirable effect of doubling the number of chromosomes on such signs as lacustrine conditions, productive bushiness, grain type, number of falls and the growing season has been established. Thus, the results of the study indicate that polyploidification in rye increases the efficiency of using tetraploid winter rye varieties in agricultural production in Western Siberia, due to high winter hardiness, lodging resistance, yield and grain size.

Key words: winter rye; polyploidy; variability; trait

For citation: Ermoshkina N.N. The results of a comparative assessment of the initial diploid rye varieties and their tetraploid analogues in Western Siberia. *Pisma v Vavilovskii Zhurnal Genetiki i Seleksii = Lett Vavilov J Genet Breed.* 2025;11(2):90-96. doi 10.18699/letvjgb-2025-11-13 (in Russian)

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

Acknowledgements: The author expresses sincere gratitude to the candidate of biological sciences G. V. Artemova for her assistance in the work and gratitude to the reviewers for their contribution to the expert assessment of the study.

Введение

Озимая рожь (*Secale cereale* L.) – культура умеренно холодного климата, которая отличается высокой пластичностью и адаптивностью среди зерновых культур в регионах со сложными климатическими условиями (Rabanus-Wallace et al., 2021; Урбан и др., 2022). Она обладает высоким потенциалом продуктивности и уникальными кормовыми, пищевыми и технологическими качествами, поэтому представляет особую ценность для производства продовольственного зерна в Сибири. По данным Росстата, занимаемая площадь под рожью в Сибирском регионе составляет 49.4 тыс. га (Посевные площади..., 2024). В соответствии с Государственным реестром селекционных достижений для региона допущено к использованию 29 сортов ржи. Большинство сортов ржи, включенных в Государственный реестр РФ, диплоидные, и только четыре сорта тетраплоидные (<https://gossortrf.ru/registry/gosudarstvennyy-reestr-seleksionnykh-dostizheniy-dopushchennykh-k-ispolzovaniyu-tom-1-sortarasteni/>). Несмотря на многочисленность диплоидных сортов, широкое внедрение в сельскохозяйственное производство Западной Сибири получили тетраплоидные сорта ржи. Их использование является одним из перспективных направлений в селекции (Урбан и др., 2010; Урбан, 2017). Исследования ряда авторов указывают, что тетраплоидные формы имеют большой потенциал продуктивности за счет увеличения массы 1000 зерен и устойчивости к полеганию (Тороп, 1967; Sevimay, 1996; Урбан, 2009).

Отсутствие природных полиплоидных форм ржи обуславливает ограниченность исходного генофонда для селекции и определяет необходимость его экспериментального получения. Поэтому в процессе селекции для удвоения количества хромосом ржи ($2n = 4x = 28$) используют методы обработки растений раствором колхицина и закисью азота (Владимиров, 1968; Гордей и др., 2024). В России широко распространен метод удвоения числа хромосом с помощью алкалоида колхицина, завоевавший признание благодаря простоте, доступности и достаточной эффективности (Владимиров и др., 1986; Артемова, 2001).

В Сибирском научно-исследовательском институте растениеводства и селекции – филиале ИЦиГ СО РАН (СибНИИРС – филиал ИЦиГ СО РАН) наряду с традиционными методами селекции озимой ржи успешно применяют методику колхицинирования, на основе которой создают

полиплоидные сорта с доминантным типом короткостебельности. Перевод на тетраплоидный уровень сортов ржи позволил решить проблему улучшения продуктивности сортов сибирского экотипа с высокими показателями морозо- и зимостойкости с использованием генов короткостебельности за счет увеличения крупности зерна в 1.3–1.5 раза (Артемова, 2007). По последним данным, тетраплоидная рожь имеет ряд преимуществ, таких как более высокое содержание белка в зерне и пониженное содержание антипитательных веществ (5-алкилрезорцинолов и пентозанов) (Blecharczyk et al., 2016; Урбан и др., 2021).

На основе сорта Короткостебельная 69 была получена тетраплоидная популяция, из которой методом клонового и индивидуально-семейственного отборов создан сорт озимой ржи Тетра короткая. Сорт озимой ржи Влада был создан путем перевода на тетраплоидный уровень сорта Чулпан, с последующим индивидуально-семейственным отбором (Ермошкина и др., 2024). При получении исходных диплоидных сортов использовали донор короткостебельности – Болгарская низкостебельная (К-10028), который имеет доминантный ген короткостебельности *Ddw2* (Кунакбаев, 1974, 1977; Шумный и др., 1992).

Средняя урожайность сортов озимой ржи Тетра короткая и Влада на сортоучастках в Новосибирской области составляет до 5.0 т/га, максимальная – до 6.3 т/га, масса 1000 зерен – 34.0–42.0 г, зимостойкость – 4.2–4.6 балла. Эти сорта занимают более двух третей возделываемых площадей по этой культуре в сибирском регионе (Артемова и др., 2016). По данным Россельхозцентра РФ за 2022 г., тетраплоидные сорта озимой ржи Влада и Тетра короткая входят в рейтинг десяти сортов-лидеров сельскохозяйственных культур по объемам высева в Российской Федерации (Рейтинг 10 сортов..., 2023). Сорт Тетра короткая ежегодно оказывается в числе десяти лучших сортов, представленных в этом рейтинге.

Несмотря на обширные исследования сортового разнообразия ржи по хозяйственно ценным признакам, особый интерес представляет установление влияния удвоения числа хромосом на селекционно значимые признаки в процессе селекции. Поэтому целью работы была сравнительная оценка по хозяйственно ценным признакам и свойствам исходных диплоидных сортов ржи и полученных на их основе тетраплоидных аналогов в условиях Западной Сибири.

Материал и методы

Исследования проводили в 2018–2021 гг. на опытных полях лаборатории селекции, семеноводства и технологии возделывания полевых культур СибНИИРС – филиала ИЦиГ СО РАН. Климат лесостепной зоны Западной Сибири характеризуется как типично континентальный. Почва опытного поля представлена черноземом выщелоченным средне-мощным и среднесуглинистым (Власенко и др., 2020). Полевые эксперименты проведены на делянках площадью 1 м² в трехкратной повторности при норме высева 300 семян/м² в первой декаде сентября по предшественнику черный пар. Выполнена пространственная изоляция между посевами сортов с различным уровнем пloidности, которая должна составлять не менее 300 м (Методика... сортоиспытания..., 2019). Уборку осуществляли в начале первой декады августа.

В качестве сравнительного анализа были выбраны две пары аналогов (исходный диплоидный сорт и полученная на его основе тетраплоидная форма). Первая пара включала исходный диплоидный сорт Короткостебельная 69 (RR, $n = 14$), созданный в СибНИИРС, и его тетраплоидную форму Тетра короткая (RRRR, $n = 28$). Вторая пара – диплоидный сорт Чулпан селекции Уфимского ФИЦ (RR, $n = 14$) и его тетраплоидный аналог сорт Влада (RRRR, $n = 28$) (СибНИИРС) (Государственный реестр..., 2024).

Агрометеорологические условия осени в годы изучения по данным ГМОС «Огурцово» были благоприятными, что способствовало оптимальному росту и развитию растений (сумма положительных температур от 436 до 480 °C), вследствие чего наблюдалась высокая сохранность растений к началу возобновления вегетации. Условия вегетационного периода (май–июль) были контрастными: 2019 и 2020 гг. характеризовались как оптимальные (ГТК = 1.03 и 1.24 соответственно), 2021 г. – с недостаточным увлажнением (ГТК = 0.88) (Зоидзе, Хомякова, 2006).

При фенологических наблюдениях руководствовались методическими указаниями по изучению и сохранению мировой коллекции ржи (Кобылянский и др., 2015). Биологический контроль за ростом и развитием растений осуществляли по (Куперман, 1982). При изучении динамики формирования конуса нарастания отбирали по 10 растений с разных повторений в конце третьей декады октября, перед установлением снежного покрова. Конус нарастания препарировали с помощью лабораторной иглы. Для измерения использовали стереоскопический микроскоп Альтами СМ0655 (ООО «Альтами»), оснащенный камерой Альтами UCOS5100.

Содержание сахаров в узлах кущения озимой ржи перед установлением снежного покрова определяли по методике Бертрана (Ермаков, 1987). Степень зимостойкости растений определяли весной в полевых условиях как процентное отношение числа перезимовавших растений к числу растений, ушедших в зиму, в соответствии с Методикой государственного сортоиспытания сельскохозяйственных культур (1989).

Для изучения кущения и высоты растений отбирали по 20 растений каждого сорта с разных повторений в периоды: первая декада ноября, вторая декада мая и третья декада июля.

Устойчивость к полеганию оценивали по пятибалльной шкале согласно методике Государственного сортоиспытания (Методика..., 1989). Измерения длины междоузлий главных побегов проводили по 10 растениям. Диаметр междоузлий измеряли штангенциркулем с точностью до 0.5 мм, толщину стенки междоузлия – на стереоскопическом микроскопе Альтами СМ0655.

Для анализа урожая и его структурных элементов использовали методические указания по изучению и сохранению мировой коллекции ржи (Кобылянский и др., 2015). Оценку качества зерна проводили в соответствии с методиками национальных стандартов Российской Федерации и оборудования: массу 1000 зерен определяли по ГОСТу 10842-89; натуру зерна – с помощью микропурки на 100 мл зерна по ГОСТам 10840-2017 и 16990-88; число падения – на приборе Харберга–Пертена Falling Number 1400 по ГОСТу 30498-97.

Значимость различий при сравнении средних показателей диплоидных форм с тетраплоидными аналогами выявляли с помощью статистической оценки существенной разности выборочных средних по t -критерию с использованием программы Microsoft Excel 2010 и методики полевого опыта, которую оценивали на 5 % уровне значимости (далее по тексту обозначено как «*») (Доспехов, 1979).

Результаты и обсуждение

При изучении прохождения этапов органогенеза и фенологических фаз (фенофаз) выявлены различия у исходных диплоидных форм и их тетраплоидных аналогов. На этапе III органогенеза наблюдаются изменения размера конуса нарастания. У тетраплоидных форм Тетра короткая и Влада более длинный конус нарастания – 0.71 и 0.69 мм соответственно, что на 0.03–0.11 мм меньше, чем у исходных диплоидных сортов. Нижняя часть конуса нарастания у тетраплоидных аналогов при дифференциации имела меньше сегментов в сравнении с исходными формами. В связи с этим тетраплоидные аналоги характеризовались более медленным развитием и интенсивным ростом конуса нарастания начиная с фазы кущения (этап III органогенеза), которая сохранялась на протяжении всех этапов органогенеза и фенофаз. Также при более крупном зерне необходимо больше времени для полного созревания. Из анализа фенологических фаз развития у исходных форм было установлено опережение в росте и развитии конуса нарастания растений в период кущения и заканчивая фазой созревания растений по сравнению с тетраплоидными аналогами. Следовательно, вегетационный период у исходных диплоидных сортов ржи на четверо суток короче, чем у тетраплоидов (326 сут).

Анализ линейного роста растений двух пар озимой ржи показал отсутствие достоверных изменений. Высота растений колебалась в пределах от 129.8 до 140.0 см, а устойчивость к полеганию оценивалась в 4.4–5.0 балла, что свидетельствует о высокой стабильности (табл. 1).

Устойчивость сортов ржи к полеганию зависит не только от длины стебля, но и от длины и толщины нижних междоузлий, на которые ложится основная нагрузка надземной массы растения (Перспективная... технология..., 2010). Отмечается последовательное удлинение междоузлий стебля

Таблица 1. Параметры стебля растений и устойчивости к полеганию исходных диплоидных сортов и их тетраплоидных аналогов (среднее за 2019–2021 гг.)**Table 1.** Plant stem parameters and lodging resistance of the initial diploid varieties and their tetraploid analogues (average for 2019–2021)

Признак	Первая пара аналогов		Вторая пара аналогов	
	Короткостебельная 69	Тетра короткая	Чулпан	Влада
Высота растения, см	129.8 ± 7.5	140.0 ± 8.6	138.9 ± 9.4	133.1 ± 7.1
Устойчивость к полеганию, баллов	5.0 ± 0.1	4.9 ± 0.2	4.4 ± 1.1	4.8 ± 0.4
Длина междоузлия, см				
1-го междоузлия	4.2 ± 1.8	3.5 ± 2.2	5.6 ± 1.7	3.9 ± 1.2
2-го междоузлия	10.6 ± 2.1	9.5 ± 3.5	12.1 ± 2.4	9.7 ± 1.3
Верхнее междоузлие	31.2 ± 2.9	32.1 ± 3.5	34.0 ± 3.7	31.3 ± 3.6
Диаметр междоузлия, см				
1-го междоузлия	4.64 ± 0.4	4.11 ± 0.3	3.64 ± 0.1	3.46 ± 0.2
2-го междоузлия	5.35 ± 0.7	4.69 ± 0.3	4.25 ± 0.2	4.12 ± 0.3
Верхнее междоузлие	1.60 ± 0.2	1.36 ± 0.2	1.18 ± 0.1	1.15 ± 0.1
Толщина стенки междоузлия, мм				
1-го междоузлия	0.81 ± 0.1	0.94 ± 0.1	0.73 ± 0.1	1.12 ± 0.2
2-го междоузлия	0.64 ± 0.1	0.68 ± 0.1	0.64 ± 0.1	0.86 ± 0.1
Верхнее междоузлие	0.49 ± 0.1	0.43 ± 0.1	0.40 ± 0.1	0.52 ± 0.1

от первого наземного междоузлия к верхнему независимо от уровня пloidности, при этом параллельно уменьшается диаметр междоузлия. При переводе на тетраплоидный уровень в первой паре наблюдалось уменьшение числа междоузлий, а во второй – увеличение. Таким образом, у сортов Тетра короткая и Чулпан при наибольшем числе междоузлий на стебле (6–7) наблюдалось увеличение длины верхнего междоузлия на 0.9–2.7 см. В результате толщина стенки междоузлия уменьшается на 0.06–0.12 мм, а диаметр остается примерно одинаковым, около 1 см (1.18–1.36 см). При увеличении междоузлий длина стебля растения также увеличивается. Хотя пары аналогов различаются, верхнее междоузлие имеет среднюю длину, с очень малыми диаметром и толщиной стенок, однако независимо от этого колос у ржи поникает.

При переходе на тетраплоидный уровень изменяется архитектура стебля растений ржи. Сравнительный анализ показал уменьшение длины первого и второго междоузлий у тетраплоидных форм на 0.7–1.7 и 1.1–2.4 см соответственно. Одновременно с этим длина и диаметр междоузлий тетраплоидных аналогов уменьшались, а толщина стенки увеличилась в первом и втором междоузлиях на 0.04–0.39 мм. То есть нижнее междоузлие стебля тетраплоидных аналогов короткое, с меньшим диаметром, но широкой стенкой самого междоузлия, что влияет на прочность стебля растения. Однако высота растений была на одном уровне при высокой устойчивости к полеганию (4.4–5.0 балла). У тетраплоидных форм признаки «высота растений» и «устойчивость к полеганию» в значительной мере определяются показателями исходного диплоидного сорта, у которого высота растений контролируется доминантным геном короткостебельности *Ddw2*. При переходе с диплоидного на тетраплоидный уровень были выявлены константность высоты рас-

тения и изменение архитектуры стебля, что способствует повышению устойчивости к полеганию.

В формировании побегов кущения и продуктивной кустистости у исходных сортов ржи и их тетраплоидных аналогов наблюдались характерные различия (табл. 2). У сортов Короткостебельная 69 и Чулпан отмечено лучшее кущение в сравнении с их тетраплоидными аналогами: в осенний период на 1.2–1.4 побега, в весенний – на 1.2–1.6, в конце летней вегетации – на 1.2–1.3 побега. При сопоставлении показателей кустистости выявлено увеличение числа стеблей у диплоидных сортов, которое снижается после перевода на тетраплоидный уровень. Продуктивная кустистость тетраплоидных форм ржи снижается на 0.1–1.0 побега по сравнению с исходными сортами. Поэтому изменение показателей кущения при полиплоидизации носит индивидуальный характер для каждой пары аналогов.

По интенсивности накопления водорастворимых углеводов статистически значимая разница между двумя парами аналогов наблюдалась перед установлением снежного покрова в осенний период. У тетраплоидных аналогов выявлено наибольшее содержание водорастворимых углеводов (сумма сахаров на сырое вещество – 5.6–6.4 %, на сухое вещество – 30.4–34.8 %). У диплоидных форм, наоборот, эти показатели были снижены (3.6–4.6 и 19.7–25.1 % соответственно) (табл. 3). Таким образом, у тетраплоидных сортов ржи отмечено более активное накопление водорастворимых углеводов. Однако количество накопившихся водорастворимых углеводов у исходных форм ржи и их аналогов было достаточным для обеспечения устойчивости растений к различным стрессовым воздействиям.

Исходные формы ржи и их аналоги показали высокую устойчивость к низким температурам. Зимостойкость первой пары составила 92.1–97.4 %, второй – 91.4–97.7 % (см.

Таблица 2. Показатели кущения растений и продуктивной кустистости исходных диплоидных сортов и их тетраплоидных аналогов в осенний период (среднее за 2018–2021 гг.)**Table 2.** Indicators of plant tillering and productive tillering of the original diploid varieties and their tetraploid analogues in the autumn period (average for 2018–2021)

Пара аналогов	Наименование сортов	Побегов кущения, см			Продуктивная кустистость, шт.
		в осенний период	в весенний период	в летний период	
Первая	Короткостебельная 69	5.1 ± 0.6	6.0 ± 0.7	6.1 ± 1.5	4.4 ± 0.6
	Тетра короткая	3.7 ± 0.4	4.8 ± 0.5	4.8 ± 1.3	4.3 ± 0.4
Вторая	Чулпан	4.9 ± 0.7	6.7 ± 0.9	4.5 ± 1.3	4.1 ± 0.8
	Влада	3.7 ± 0.4	5.1 ± 0.7	3.3 ± 0.7	3.1 ± 1.0

Таблица 3. Показатели накопления сахаров в узле кущения и зимостойкости растений исходных диплоидных сортов и их тетраплоидных аналогов (среднее за 2018–2021 гг.)**Table 3.** Indicators of sugar accumulation in the tillering node and winter hardiness of plants of the initial diploid varieties and their tetraploid analogues (average for 2018–2021)

Пара аналогов	Наименование сортов	Сумма сахаров, %		Зимостойкость, %
		на сырое вещество	на сухое вещество	
Первая	Короткостебельная 69	4.6 ± 0.1	25.1 ± 0.6	97.4 ± 0.5
	Тетра короткая	6.4 ± 0.2*	34.8 ± 0.8*	97.7 ± 0.7
Вторая	Чулпан	3.6 ± 0.4	19.7 ± 0.2	91.4 ± 0.6
	Влада	5.6 ± 0.1*	30.4 ± 0.5*	92.1 ± 0.9

Таблица 4. Характеристика исходных диплоидных сортов и их тетраплоидных аналогов по основным хозяйственным и качественным показателям (среднее за 2019–2021 гг.)**Table 4.** Characteristics of the initial diploid varieties and their tetraploid analogues by main economic and qualitative indicators (average for 2019–2021)

Признак	Первая пара аналогов		Вторая пара аналогов	
	Короткостебельная 69	Тетра короткая	Чулпан	Влада
Урожайность, г/м ²	659.9 ± 1.8	797.3 ± 8.9*	614.0 ± 6.1	803.1 ± 7.0*
Длина колоса, см	11.8 ± 0.4	13.3 ± 0.1	11.4 ± 0.2	12.6 ± 0.7
Число колосков, шт.	33.2 ± 0.7	32.7 ± 0.9	31.7 ± 0.2	31.4 ± 0.9
Озерненность колоса, %	86.9 ± 0.8	81.6 ± 0.2*	85.7 ± 1.8	81.5 ± 0.2
Число зерен с колоса, шт.	57.5 ± 1.7	50.9 ± 1.2	54.2 ± 0.4	50.0 ± 1.7
Масса зерна с колоса, г	1.55 ± 0.5	2.27 ± 0.6	2.25 ± 0.4	2.32 ± 0.7
Масса зерна с растения, г	6.76 ± 1.0	8.59 ± 1.1	7.81 ± 1.2	8.89 ± 0.9
Масса 1000 зерен, г	27.5 ± 1.0	43.5 ± 0.9*	37.3 ± 0.9	47.0 ± 0.3*
Натура зерна, г/л	717.7 ± 1.2	700.0 ± 1.5*	688.7 ± 1.7	672.0 ± 1.2*
Число падения, с	274.3 ± 8.2	179.3 ± 13.1*	186.0 ± 12.7	164.3 ± 4.1

табл. 3). Наследование зимостойкости у ржи обусловлено полигенным контролем. Это означает, что устойчивость к низким температурам проявляется как результат совместного действия множества генов в конкретных условиях среды (Уткина, Кедрова, 2018). Таким образом, наблюдается сходство признака зимостойкости растений при переходе с диплоидного на тетраплоидный уровень.

Тетраплоидные сорта превзошли по урожайности зерна исходные формы (табл. 4). Достоверное увеличение урожайности по сравнению с исходным аналогом у сорта Тетра короткая составило 137.4 г/м² (17.2 %), а у сорта Влада – 189.1 г/м² (23.5 %), что говорит о положительном влиянии удвоения числа хромосом на урожайность.

Детальный анализ структуры урожая по слагающим ее элементам продуктивности позволил определить влияние

удвоения числа хромосом на величину хозяйственно ценных признаков (см. табл. 4). При увеличении длины колоса у тетраплоидных форм (13.3 см у сорта Тетра короткая и 12.6 см у сорта Влада) происходит уменьшение числа колосков в колосе (32.7 и 31.4 шт. соответственно). Вместе с тем наблюдается снижение озерненности колоса, которая у тетраплоидных сортов составила 81 %, что на 4–5 % ниже, чем у исходных форм. Это обусловлено периодическим отбором по колосу у тетраплоидных сортов, что приводит к стабилизации до уровня исходных диплоидных сортов. Озерненность колоса у тетраплоидной формы Тетра короткая снижена на 5.3 % по сравнению с сортом Короткостебельная 69, что подтверждает разный характер признака «озерненность колоса» при полиплоидизации для каждой пары аналогов.

Положительный эффект полиплоидии проявляется, прежде всего, за счет увеличения крупности зерна. В первой паре масса 1000 зерен у сорта Короткостебельная 69 составляет 27.5 г, а у тетраплоидного аналога – 43.5 г, что в 1.5 раза выше, чем у исходной формы. У более крупнозерного сорта Чулпан во второй паре масса 1000 зерен равна 37.3 г, при переводе на тетраплоидный уровень это значение увеличивается до 47.0 г, т. е. в 1.2 раза. Таким образом, при переводе на тетраплоидный уровень достоверно выражена изменчивость признака «масса 1000 зерен». Следовательно, у образцов Тетра короткая и Влада увеличиваются такие показатели продуктивности, как масса зерна с колоса (2.27 и 2.32 г соответственно) и масса зерна с растения (8.59 и 8.89 г), что в итоге приводит к увеличению урожайности тетраплоидных сортов озимой ржи (797.3 и 803.1 г/м²) по сравнению с их исходными диплоидными формами.

По качеству зерна диплоидные сорта отличаются от своих тетраплоидных аналогов. В первой паре исходный сорт Короткостебельная 69 формирует зерно высокого качества и достоверно превосходит тетраплоидный сорт по натуре зерна на 17.7 г/л и числу падения на 95 с (см. табл. 4). Во второй паре сорт Чулпан тоже демонстрирует высокие результаты по натуре зерна и числу падения, превышая показатели тетрааналога на 16.7 г/л и 21.7 с. Таким образом, выявлено достоверное влияние полиплоидизации на снижение природы зерна, однако признак «число падения» носит индивидуальный характер для каждой пары аналогов. Несмотря на высокие показатели качества зерна у исходных форм, при переводе на тетраплоидный уровень наблюдается снижение природы и числа падения, однако такое зерно при переработке в муку гарантирует хорошие хлебопекарные свойства.

Заключение

В результате сравнительного анализа исходных диплоидных сортов ржи и их тетраплоидных аналогов установлены различия по основным хозяйственно ценным признакам. При переходе с диплоидного на тетраплоидный уровень наблюдается сходство признаков по высоте и зимостойкости растений, поскольку наследование этих признаков носит полигенный характер, что благоприятно влияет на устойчивость растений к стрессу.

У тетраплоидных аналогов отмечено достоверное увеличение урожайности на 17.2–23.5 % и крупности зерна в 1.2–1.5 раза, следовательно, полиплоидизация достоверно приводит к выраженности изменчивости признаков «урожайность» и «масса 1000 зерен». Также увеличиваются масса зерна с колоса на 0.07–0.72 г и масса зерна с растения на 1.08–1.83 г, что в конечном итоге способствует повышению урожайности по сравнению с исходными диплоидными формами.

Показано нежелательное влияние удвоения числа хромосом на такие признаки, как озерненность колоса, продуктивная кустистость, натура зерна, число падения и удлинение вегетационного периода.

Исследование показало, что тетраплоидные сорта озимой ржи повышают эффективность в сельском хозяйстве Западной Сибири благодаря высоким показателям зимостой-

кости, устойчивости к полеганию, урожайности и крупности зерна. За счет этого тетраплоидные сорта набирают популярность и становятся все более конкурентоспособными.

Список литературы / References

- Артемова Г.В. Результаты и методы селекции зимостойких сортов озимой ржи в условиях Сибири. В: Закономерности формирования хозяйственно-ценных принципов и новые методы селекции озимых колосовых культур. Уфа, 2001;107-113 [Artemova G.V. Results and methods of breeding winter-hardy varieties of winter rye in Siberia. In: Patterns of Formation of Economically Valuable Principles and New Methods of Breeding Winter Crops. Ufa, 2001;107-113 (in Russian)]
- Артемова 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 in Agro-Industrial Complex*. 2007;12:16-17 (in Russian)]
- Артемова Г.В., Пономаренко В.И., Степочкин 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, 29–31 марта 2016 года. *Новосибирск, 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. Proceedings of the 2th International Conference dedicated to the 80th anniversary of SibNIIRS. *Novosibirsk, 2016; 9-10* (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. *Seleksiya i Semenovodstvo = Breeding and Seed Industry*. 1968;4: 41-43 (in Russian)]
- Владимиров Н.С., Артемова Г.В., Кравченко Г.П. Научно-теоретические основы создания короткостебельных и тетраплоидных сортов озимой ржи для условий Сибири. В: Селекция и семеноводство сельскохозяйственных культур Западной Сибири. Новосибирск, 1986;23-32 [Vladimirov N.S., Artemova G.V., Kravchenko G.P. Scientific and theoretical foundations of the creation of short-stemmed and tetraploid varieties of winter rye for Siberian conditions. In: Breeding and Seed Production of Agricultural Crops in Western Siberia. *Novosibirsk, 1986;23-32* (in Russian)]
- Власенко А.Н., Кудашкин П.И., Власенко Н.Г. Влияние ресурсосберегающих технологий на содержание гумуса в черноземе выщелоченном северной лесостепи Западной Сибири. *Земледелие*. 2020;5:3-6. doi 10.24411/0044-3913-2020-10501 [Vlasenko A.N., Kudashkin P.I., Vlasenko N.G. Influence of resource-saving technologies on the humus content in leached chernozem of the Northern forest-steppe of Western Siberia. *Zemledelie*. 2020; 5:3-6. doi 10.24411/0044-3913-2020-10501 (in Russian)]
- Гордей С.И., Урбан Э.П., Карпович О.Н., Гордей И.С., Шимко В.Е., Лусиков О.М. Результаты создания новых форм тетраплоидной ржи с использованием закиси азота (N₂O). *Земледелие и селекция в Беларуси*. 2024;60:175-183 [Gordey S.I., Urban E.P., Karpovich O.N., Gordey I.S., Shimko V.E., Lyusikov O.M. Results of development of new tetraploid rye forms using nitrous oxide (N₂O). *Zemledelie i Seleksiya v Belarusi*. 2024;60: 175-183 (in Russian)]
- Государственный реестр селекционных достижений, допущенных к использованию. Электрон. ресурс. Доступно: <https://gossortrf.ru/registry/gosudarstvennyy-reestr-selektionnykh-dostizheniy-dopushchennykh-k-ispolzovaniyu-tom-1-sorta-rasteniy/> (дата обращения 23.12.2024) [State Register of Selection Achievements Authorized for Use for Production Purposes. Available at: <https://gossortrf.ru/registry/gosudarstvennyy-reestr-selektionnykh-dostizheniy-dopushchennykh-k-ispolzovaniyu-tom-1-sorta-rasteniy/> (Accessed 23.12.2024)]
- Доспехов Б.А. Методика полевого опыта. С основами статистической обработки результатов исследований. М., 1979

- [Dospikhov V.A. Methodology of Field Experience. With the basics of statistical processing of research results. Moscow, 1979 (in Russian)]
- Ермаков А.И. Методы биохимического исследования растений. Л., 1987
- [Ermakov A.I. Methods of Biochemical Research of Plants. Leningrad, 1987 (in Russian)]
- Ермошкина Н.Н., Саламатина А.А., Артемова Г.В., Мушинов К.К., Сурначев А.С., Стёпочкин П.И. Уникальный сибирский генофонд ржи и его использование в селекции зерновых культур. *Письма в Вавилонский журнал генетики и селекции*. 2024;10(2):111-118. doi 10.18699/letvjgb-2024-10-13
- [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 = Lett Vavilov J Genet Breed*. 2024;10(2):111-118. doi 10.18699/letvjgb-2024-10-13 (in Russian)]
- Зоидзе Е.К., Хомякова Т.В. Моделирование формирования влагообеспеченности на территории Европейской России в современных условиях и основы оценки агроклиматической безопасности. *Метеорология и гидрология*. 2006;2:98-105
- [Zoidze E.K., Khomyakova T.V. Modeling of the water supply formation over European Russia under current conditions and estimating agroclimatic safety. *Russian Meteorology and Hydrology*. 2006;2:73-79]
- Кобылянский В.Д., Сафонова И.В., Солодухина О.В., Аниськов Н.И. Изучение и сохранение мировой коллекции ржи. Методические указания. СПб., 2015
- [Kobylyansky V.D., Safonova I.V., Solodukhina O.V., Aniskov N.I. Study and Preservation of the World Rye Collection. Methodological guidelines. St. Petersburg, 2015 (in Russian)]
- Кунакбаев С.А. О селекции озимой ржи на короткостебельность. *Селекция и семеноводство*. 1974;1:16-20
- [Kunakbaev S.A. On the selection of winter rye for short stems. *Seleksiya i Semenovodstvo = Breeding and Seed Industry*. 1974;1:16-20 (in Russian)]
- Кунакбаев С.А. К вопросу создания сортов озимой ржи интенсивного типа. В: Сборник научных трудов Башкирского НИИСХ. Уфа, 1977;25-52
- [Kunakbaev S.A. On the issue of creating intensive winter rye varieties. In: Collection of Scientific Papers of the Bashkir Research Institute of Agriculture. Ufa, 1977;25-52 (in Russian)]
- Куперман Ф.М. Биология развития культурных растений. М., 1982
- [Kuperman F.M. Biology of the Development of Cultivated Plants. Moscow, 1982 (in Russian)]
- Методика государственного сортоиспытания сельскохозяйственных культур. Вып. 2. Зерновые, крупяные, зернобобовые, кукуруза и кормовые культуры. М., 1989
- [Methodology of State Variety Testing of Agricultural Crops. Iss. 2. Cereals, cereals, legumes, corn and forage crops. Moscow, 1989 (in Russian)]
- Методика государственного сортоиспытания сельскохозяйственных культур. М., 2019. Доступно: https://gossortrf.ru/upload/2019/08/metodica_1.pdf
- [Methodology of the State Variety Testing of Agricultural Crops. Moscow, 2019. Available at: https://gossortrf.ru/upload/2019/08/metodica_1.pdf (in Russian)]
- Перспективная ресурсосберегающая технология производства зерна озимой ржи. Методические рекомендации. М., 2010
- [Promising Resource-Saving Technology for the Production of Winter Rye Grain. Methodological guidelines. Moscow, 2010 (in Russian)]
- Посевные площади Российской Федерации в 2024 году. Федеральная служба государственной статистики (Росстат), 2024. Доступно: https://rosstat.gov.ru/storage/mediabank/posev-4cx_2024.xlsx (дата обращения 23.12.2024)
- [Sown Areas of the Russian Federation in 2024. Federal State Statistics Service, 2024. Available at: https://rosstat.gov.ru/storage/mediabank/posev-4cx_2024.xlsx (Accessed 23.12.2024)]
- Рейтинг 10 сортов (гибридов) лидеров с/х культур по объемам высева в РФ в 2022 г. *Информационный листок Россельхозцентра*. № 2/2023 от 24.01.2023 (дата обращения 23.12.2024)
- [Rating of 10 varieties (hybrids) of leading agricultural crops in terms of seeding volumes in the Russian Federation in 2022. Information Sheet of the Russian Agricultural Center. No. 2/2023, January 24, 2023. (Accessed 23.12.2024) (in Russian)]
- Тороп А.А. Морфологические особенности тетраплоидных форм озимой ржи в сравнении с исходными диплоидными сортами. *Селекция и семеноводство*. 1967;6:128-134
- [Torop A.A. Morphological features of tetraploid forms of winter rye in comparison with the original diploid varieties. *Seleksiya i Semenovodstvo = Breeding and Seed Industry*. 1967;6:128-134 (in Russian)]
- Урбан Э.П. Озимая рожь в Беларуси: селекция, семеноводство, технология возделывания. Минск, 2009
- [Urban E.P. Winter Rye in Belarus: Selection, seed production, cultivation technology. Minsk, 2009 (in Russian)]
- Урбан Э.П. Генофонд озимой тетраплоидной ржи и использование его в селекции. *Земледелие и селекция в Беларуси*. 2017;53:261-267
- [Urban E.P. Genetic pool of winter tetraploid rye and its use in breeding. *Zemledelie i Seleksiya v Belarusi*. 2017;53:261-267 (in Russian)]
- Урбан Э.П., Гордей С.И., Гордей И.А. Озимая рожь. В: Генетические основы селекции растений. Т. 2. Частная генетика растений. Минск, 2010;120-155
- [Urban E.P., Gordey S.I., Gordey I.A. Winter rye. In: The Genetic Foundations of Plant Breeding. Vol. 2. Private Plant Genetics. Minsk, 2010;120-155 (in Russian)]
- Урбан Э.П., Карпович О.Н., Дремук Д.А., Чугаева В.В., Тарануха А.В., Гордей И.С. Основные результаты селекции озимой тетраплоидной ржи в Беларуси. В: Стратегия и приоритеты развития земледелия и селекции в Беларуси. Достижения науки – производству. Минск, 2021;179-182
- [Urban E.P., Karpovich O.N., Dremuk D.A., Chugaeva V.V., Taranukha A.V., Gordey I.S. The main results of winter tetraploid rye breeding in Belarus. In: Achievements in Science and Production. Minsk, 2021;179-182 (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. Сeryя аграрных навук*. 2022;60(2):160-170. doi 10.29235/1817-7204-2022-60-2-160-170
- [Urban E.P., Gordey S.I., Artyukh D.Yu., Gordey 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. doi 10.29235/1817-7204-2022-60-2-160-170 (in Russian)]
- Уткина Е.И., Кедрова Л.И. Зимостойкость озимой ржи: проблемы и решения. *Аграрная наука Евро-Северо-Востока*. 2018;1(62):11-18. doi 10.30766/2072-9081.2018.62.1.11-18
- [Utkina E.I., Kedrova L.I. Winter hardiness of winter rye: problems and solutions. *Agricultural Science Euro-North-East*. 2018;1(62):11-18. doi 10.30766/2072-9081.2018.62.1.11-18 (in Russian)]
- Шумный В.К., Попова И.С., Владимиров Н.С. Тетраплоидная рожь в Сибири. В: Генетические методы в селекции растений. Новосибирск, 1992;62-108
- [Shumny V.K., Popova I.S., Vladimirov N.S. Tetraploid rye in Siberia. In: Genetic Methods of Plant Breeding. Novosibirsk, 1992;62-108 (in Russian)]
- Blecharczyk A., Sawinska Z., Małacka I., Sparks T., Tryjanowski P. The phenology of winter rye in Poland: an analysis of long-term experimental data. *Int J Biometeorol*. 2016;60:1341-1346. doi 10.1007/s00484-015-1127-2
- Rabanus-Wallace M.T., Hackauf B., Mascher M., Lux T., Wicker T., Gundlach H., Baez M., ... 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
- Sevimay C.S. Obtaining tetraploid perennial rye from diploid perennial rye (*Secale montanum* Guss.) by colchicine treatment. *Turk J Agric For*. 1996;20(1):55-61

Конфликт интересов. Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

Поступила в редакцию 05.02.2025. После доработки 23.04.2025. Принята к публикации 04.06.2025