

 pismavavilov.ru

doi 10.18699/letvjgb-2026-12-04

Оригинальное исследование

Изучение устойчивости к полеганию озимой ржи

Н.Н. Ермошкина , Е.В. Агеева 

Аннотация. Цель исследования – изучение анатомо-морфологических признаков ди- ($2n = 2x = 14$) и тетраплоидных ($2n = 4x = 28$) форм озимой ржи *Secale L.* с применением метода главных компонент (PCA). В результате выявлены закономерности, определяющие устойчивость растений к полеганию. Исследования проводили в условиях Западной Сибири (в Новосибирской области) с 2018 по 2021 г. Изучено 30 коллекционных образцов различного происхождения, что обеспечило широкий спектр разнообразия. При сравнительном анализе установлено, что сортообразцы тетраплоидной ржи обладают более высокой устойчивостью к полеганию (4.7 балла), это связано с уменьшением высоты растений на 9–11 %, длины и диаметра междоузлий на 3–11 %, увеличением толщины стенок стебля на 3–19 % при сокращении в них числа проводящих пучков. Полученные данные могут быть использованы для создания новых тетраплоидных сортов ржи с повышенной устойчивостью к полеганию. Анализ методом PCA позволил сократить исходный набор переменных до четырех главных компонент для диплоидной и пяти – для тетраплоидной ржи. Число проводящих пучков показало высокую генетическую стабильность ($CV < 9\%$), а длина первого нижнего междоузлия – значительную фенотипическую пластичность ($CV = 18.1–20.1\%$), что свидетельствует о сложном характере наследования этого признака. Выявленные анатомо-морфологические параметры: высота растений, длина и диаметр нижних междоузлий, толщина стенок стебля, число проводящих пучков – имеют практическое значение для селекции, позволяя проводить целенаправленный отбор генотипов с оптимальным сочетанием признаков, контролируемых устойчивостью к полеганию. В результате проведенных исследований выделены сорта российской и белорусской селекции, которые можно использовать в селекционной работе в качестве источников устойчивости к полеганию с рекомендованными анатомо-морфологическими признаками – Короткостебельная 69, Талисман, Тетра короткая, Рокот 95 и Зазерская 3.

Ключевые слова: озимая рожь; устойчивость к полеганию; анализ признаков; метод главных компонент

Для цитирования: Ермошкина Н.Н., Агеева Е.В. Изучение устойчивости к полеганию озимой ржи. *Письма в Вавиловский журнал генетики и селекции*. 2026;12(1):22-30. doi 10.18699/letvjgb-2026-12-04

Финансирование: Работа поддержана бюджетным проектом ИЦиГ СО РАН № FWN-2026-0033.

Благодарности: Благодарим уважаемых рецензентов за внимательное прочтение статьи и советы по ее улучшению.


Original article


Studying resistance to deposition of winter rye

N.N. Ermoshkina , E.V. Ageeva 

Abstract. The aim of the study was to study the anatomical and morphological features of di- ($2n = 2x = 14$) and tetraploid ($2n = 4x = 28$) forms of winter rye *Secale cereale L.* using the principal component analysis (PCA). As a result, patterns that determine the resistance of plants to lodging have been identified. The research was conducted in Western Siberia (Novosibirsk region) from 2018 to 2021. 30 collectible specimens of different origins were studied, which provided a wide range of diversity. A comparative analysis revealed that tetraploid rye cultivars have a higher resistance to lodging (4.7 points), which is associated with a decrease in plant height by 9–11 %, a reduction in the length and diameter of internodes by 3–11 %, and an increase in the thickness of the stem walls by 3–19 % while reducing the number of conductive bundles in them. The data obtained can be used to create new tetraploid rye varieties with increased resistance to lodging. The PCA analysis allowed us to reduce the initial set of variables to four main components for diploid rye and five for tetraploid rye. It is worth noting that the number of conducting bundles showed high genetic stability ($CV < 9\%$), and the length of the first lower internode showed significant phenotypic plasticity ($CV = 18.1–20.1\%$), which indicates the complex nature of inheritance of this trait. The revealed anatomical and morphological parameters (plant height, length and diameter of the lower internodes, thickness of the stem walls, number of conducting bundles) are of practical importance for breeding, allowing for targeted selection of genotypes with an optimal combination of traits that control lodging resistance. As a result of the conducted research, varieties of Russian and Belarusian breeding have been identified that can be used in breeding work as sources of lodging resistance with recommended anatomical and morphological characteristics – ‘Korotkostebel’naya 69’, ‘Talisman’, ‘Tetra korotkaya’, ‘Rokot 95’ and ‘Zazerskaya 3’.

Сибирский научно-исследовательский институт растениеводства и селекции – филиал Федерального исследовательского центра Институт цитологии и генетики Сибирского отделения Российской академии наук, р.п. Краснообск, Новосибирская обл., 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., Агеева Е.В., 2026

Key words: winter rye; lodging; signs; feature analysis; method of main components

For citation: Ermoshkina N.N., Ageeva E.V. Studying resistance to deposition of winter rye. *Pisma v Vavilovskii Zhurnal Genetiki i Seleksii = Lett Vavilov J Genet Breed.* 2026;12(1):22-30. doi 10.18699/letvjgb-2026-12-04

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-2026-0033.

Acknowledgements: We thank the esteemed reviewers for their careful reading of this article and their suggestions for improvement.

Введение

В процессе селекции одна из ключевых задач состоит в оценке коллекции сортообразцов ржи *Secale cereale* L. различного эколого-географического происхождения по хозяйственно ценным признакам. Этот этап позволяет выявить источники и доноры устойчивости к неблагоприятным абиотическим и биотическим факторам внешней среды (Сафонова и др., 2019). Особое внимание уделяется созданию исходного материала с устойчивостью к полеганию, что способствует сохранности урожая и качества зерна (Леонова, Агеева, 2022). Полегание сельскохозяйственных культур влияет на индивидуальное развитие растений, общую урожайность и качество зерна. В селекции ученые-селекционеры работают над созданием сортов озимой ржи, устойчивых к полеганию (Berry, 2004). Установлено, что в процессе селекции повышение устойчивости к полеганию достигалось за счет снижения высоты растений, что обусловлено воздействием различных генов, контролирующих короткостебельность: рецессивно-полигенный и доминантно-моногоенный (Гончаренко, 2010). Доказано, что сорта, созданные с использованием метода полиплоидии, обладают более высокой урожайностью и биомассой, повышенной устойчивостью к стрессу и полеганию по сравнению с диплоидными аналогами (Sattler et al., 2016). Увеличение устойчивости к полеганию достигается за счет утолщения стебля и уменьшения его длины на 10–15 % по сравнению с диплоидной рожью (Гордей, 2016).

Рожь подвержена различным видам полегания, которые распознаются по внешним проявлениям (Григулецкий, 2019а). Выделяются два основных типа полегания: прикорневое и стеблевое. Чаще всего встречается стеблевое полегание, которое может происходить при неблагоприятных условиях окружающей среды во время выхода растений в трубку и сохраняется до полной спелости (Зайцева, Щенникова, 2020). При стеблевом полегании стебель изгибается или ломается. Если это произошло до начала колошения, у стебля растения есть шанс выпрямиться за счет стеблевых узлов, которые изгибаются вверх, восстанавливая вертикальность стебля. Растения со сломанным стеблем, полегшие в период полного созревания, утрачивают способность к выпрямлению. Прикорневое полегание растений характеризуется утратой вертикального положения стеблей, что приводит к их падению на поверхность почвы, после чего стебель не может подняться самостоятельно. Такой вид полегания чаще всего возникает в условиях повышенной влажности почвы и при избытке минеральных удобрений. В первом случае наблюдается вытеснение воздуха водой из переувлажненной почвы и корневая система задыхается, а во втором – азот стимулирует быстрый рост листьев и стеблей при редуцированной корневой системе (Gong et al., 2025).

В работах многих исследователей установлена связь между полеганием растений, их высотой и особенностями анатомо-морфологического строения (Гончаренко, 2010; Захаров, Яковлева, 2014; Kobylansky, Solodukhina, 2014). Высота растений ржи – один из важнейших морфологических показателей, связанных с устойчивостью к полеганию. Как правило, чем выше растение и тоньше его стебель, тем оно менее устойчиво к полеганию, что характерно для многих культур. В основном высота растений ржи варьируется от 70 до 200 см в зависимости от условий произрастания и особенностей сорта. Одним из способов снижения высоты ржи является выведение короткостебельных неполегающих сортов, признаки которых контролируются сложной системой генов. В настоящее время у ржи идентифицировано 14 генов, контролирующих короткостебельность (Mahone et al., 2015; Grądzielewska et al., 2020). Наиболее ценны для селекции доминантные гены *Ddw1* и *Ddw2*, которые широко распространены у 90 % сортов ржи (Börner et al., 1996; Kobylansky, Solodukhina, 2014).

Анализ данных литературы показывает, что более устойчивые к полеганию растения ржи имеют меньшую высоту, более короткие нижние междоузлия, большую толщину соломины и узлов стебля, развитую корневую систему, большую массу отрезков стебля и корня. К.А. Тимирязев полагал, что причины полегания – ослабление нижних междоузлий стебля (Привалов, 1993). В большинстве публикаций утверждается, что толщина стенки стебля служит ключевым анатомическим параметром, оказывающим значительное влияние на его устойчивость к полеганию (Bisht et al., 2022). Другие параметры анатомо-морфологических признаков не дают однозначных зависимостей. В то же время любые изменения свойств стебля могут существенно повлиять на его устойчивость, что объясняется жесткостью (упругостью) стенки стебля. Установлено, что в период от полного цветения до полного созревания закономерно увеличивается упругость стебля, что существенно снижает риск полегания (Лазаревич, 1997; Григулецкий, 2019б).

Важная роль в формировании устойчивости к полеганию принадлежит проводящей системе стебля. Проводящие пучки в первичной коре (хлоренхиме) и паренхиме усиливают упругие свойства стебля и его толщину благодаря ритмическому чередованию крупных и малых пучков (Лазаревич, 1999а). Сорта, обладающие большим числом проводящих пучков в стебле, характеризуются повышенной устойчивостью к полеганию (Paska et al., 2015; Muszynska et al., 2021). При разреженном посеве и достаточном увлажнении почвы число пучков увеличивается. При недостатке влаги, даже на разреженных посевах, число пучков уменьшается (Гудкова, 1999). На полегание растений ржи влияет множество различных факторов: генотипические особенности растений,

развитие болезней, технология выращивания и погодные условия. Поэтому особую актуальность приобретает селекционная работа, направленная на получение исходного материала с высокой устойчивостью к полеганию.

В исследованиях часто приходится работать с многомерными данными, которые характеризуются сложными и не всегда очевидными взаимосвязями. Для обработки таких данных применяется метод главных компонент (PCA – principal component analysis), который позволяет уменьшить их размерность при сохранении максимально возможной информативности (Егошин, 2020; Никитин, Бобин, 2021). Метод не только упрощает анализ данных, но и способствует выявлению ключевых и скрытых факторов, влияющих на дисперсию исследуемых случайных величин (Priya et al., 2015; Efimov et al., 2019). Цель работы – поиск закономерностей проявления признака «устойчивость к полеганию» у коллекционных образцов ржи разного уровня плоидности с использованием метода главных компонент.

Материал и методы

Экспериментальная работа проведена в период с 2018 по 2021 г. на опытных участках СибНИИРС – филиала ИЦиГ СО РАН. Почва участка представлена черноземом выщелоченным среднемощным малогумусным среднесуглинистым. Опыт проводили в трехкратной повторности, площадь делянок 1 м² при норме высева 300 шт./м² по паровому предшественнику, в соответствии с методикой изучения и сохранения мировой коллекции ржи (Изучение..., 2015). Посевы проведены в первую декаду сентября, уборку осуществляли в начале первой декады августа. Использовали 30 образцов ди- и тетраплоидной озимой ржи (табл. 1) различного эколого-географического происхождения из коллекции ФИЦ Всероссийский институт генетических ресурсов растений им. Н.И. Вавилова, Научно-практического центра Национальной академии наук Беларуси по земледелию и СибНИИРС – филиала ИЦиГ СО РАН.

Для характеристики метеорологических условий использованы данные агрометеостанции «Огурцово» (п. Элитное, Новосибирская область). Условия вегетационных периодов 2019 и 2020 гг. можно охарактеризовать как оптимальные ($ГТК_{\text{май-июль}} - 1.03$ и 1.24 соответственно). В 2021 г. наблюдались условия недостаточного увлажнения ($ГТК_{\text{май-июль}} - 0.88$).

Образцы для анатомического анализа отбирали в фазу цветения, первая и вторая декада июня. Использовали главные стебли растений и брали отрезки двух нижних и верхнего междоузлий стебля. Отобранный материал помещали в пластиковые пробирки и фиксировали последовательно в 96 и 70 % этиловом спирте. Для проведения измерений изготавливали поперечные срезы стеблей, которые подвергали окрашиванию ацетокармином (уксуснокислым кармином). Поперечные срезы изготавливали вручную с использованием лезвия. Оптимальная визуализация проводящих пучков в паренхиме достигалась при получении срезов минимальной толщины (Лазаревич, 1999б; Ионова, 2009). Окрашенный препарат помещали на предметное стекло и накрывали покровным стеклом. Выполняли измерения по анатомическим показателям с помощью стереоскопиче-

ского микроскопа Альтами СМ0655 (ООО «Альтами») ($n = 7$): толщина стенки 1-го нижнего междоузлия (мм), толщина стенки 2-го нижнего междоузлия (мм), толщина стенки верхнего (колосонесущего) междоузлия (мм), число крупных и мелких проводящих пучков в первичной коре и паренхиме 1-го нижнего междоузлия (шт.), число проводящих пучков 2-го нижнего междоузлия (шт.), число проводящих пучков верхнего междоузлия (шт.).

В период восковой спелости отбирали пробы образцов ($n = 10$). Выполняли измерения растения по следующим морфологическим признакам с помощью линейки: высота растений (см), длина стебля (см), длина 1-го нижнего междоузлия (см), длина 2-го нижнего междоузлия (см), длина верхнего междоузлия (см). Диаметр стебля измеряли механическим штангенциркулем: диаметр 1-го нижнего междоузлия (мм), диаметр 2-го нижнего междоузлия (мм), диаметр верхнего междоузлия (мм).

В полевых условиях определяли однократно устойчивость к стеблевому полеганию растений перед уборкой, в третьей декаде июля. Использовали пятибалльную шкалу согласно методике государственного сортоиспытания сельскохозяйственных культур, где неполегающие сорта получали оценку 5 баллов; сорта, выпрямившиеся после полегания или полегшие в слабой степени, – 4 балла; сорта, полегшие в средней степени, – 3 балла; сорта, сильно полегшие, затрудняющие механизированную уборку, – 2 балла; сорта, сильно полегшие задолго до уборки и непригодные к механизированной уборке, – 1 балл (Федин, 1989).

Статистическую обработку данных проводили методом главных компонент. Метод позволяет сократить относительно большой набор данных до меньшего количества компонент путем поиска групп, которые имеют очень сильную корреляцию в наборе переменных. При этом каждый компонент объясняет определенный процент вариации по отношению к общей вариации (Das et al., 2017). Для интерпретации компонент используются только те значения матрицы, вклад которых превышает 0.50 (Devsh et al., 2019). Если в корреляционной матрице встречаются разные знаки, это свидетельствует о противоположных свойствах между переменными. Первая главная компонента (PC1) отражает максимальную изменчивость исходных переменных, а вторая и последующие – оставшуюся изменчивость (Fouad, 2020). Экспериментальные данные были предварительно нормированы на единичную дисперсию и центрированы. Расчеты выполнены в пакете программ SNEDECOR V5 (Сорокин, 2012). Для определения наименьшей существенной разности ($НCP_{0.05}$) использовали программу «SNEDECOR V5». Достоверность результатов оценивали при $p \leq 0.05$. Показатель коэффициент вариации (V) считается незначительным, если он не превышает 10 %, если составляет от 10 до 20 % – средним, и значительным, если находится в диапазоне больше 20 % и меньше или равно 33 % (Доспехов, 2014).

Результаты и обсуждение

В результате изучения образцов озимой ржи была проведена комплексная оценка устойчивости к полеганию и охарактеризованы анатомо-морфологические особенности стебля. В условиях лесостепи Западной Сибири отмечается

Таблица 1. Происхождение коллекционных образцов озимой ржи**Table 1.** The origin of collectible accessions of winter rye

Происхождение	Диплоидная рожь	Тетраплоидная рожь
Россия	Короткостебельная 69, Сибирская 87, Памяти Кунакбаева, Чулпан, Синильга, Алиса, Эстафета Татарстана	Тетра короткая, Влада, Сибирь 4, Рокот 95
Беларусь	Лота, Калинка, Голубка, Восток, Вердена, Талисман, Зубровка, Юбилейная	Игуменская Н1, Белая вежа, Пламя, Дубинская, Полновесная, Пуховчанка, Зазерская 3, Верасень, Дружина, Искра, Игуменская 78

стеблевое полегание, вызванное обильными дождями, иногда сопровождающимися градом и сильными порывами ветра. Тетраплоидная рожь демонстрирует более высокую и стабильную среднюю устойчивость к полеганию (4.5–5.0 баллов), что, вероятнее всего, обусловлено снижением высоты растения и стебля на 13–14 см и увеличением толщины стенки междоузлий (от 7.9 до 18.5 %). Средняя устойчивость к полеганию диплоидной ржи составляет 4.4 балла, в то же время наблюдается снижение устойчивости к полеганию среди образцов диплоидного набора до 2.8 балла (табл. 2).

У тетраплоидной ржи при более высокой устойчивости к полеганию отмечено сокращение длины междоузлий по сравнению с диплоидной формой: первое нижнее междоузлие – на 0.58 см, второе нижнее – на 1.29 см, верхнее – на 1.63 см. Одновременно наблюдалось уменьшение диаметра стебля в первом нижнем междоузлии на 0.13 мм, во втором нижнем – на 0.22 мм и в верхнем – на 0.04 мм, а также увеличение показателей толщины стенки стебля: первого нижнего междоузлия – на 0.15 мм, второго нижнего – на 0.06 мм, верхнего – на 0.06 мм.

Между ди- и тетраплоидной рожью различий по числу проводящих пучков не установлено. С.В. Лазаревич (1997; 1999а, б) установил, что нижние междоузлия стебля толще и число проводящих пучков в них значительно выше, чем в верхнем междоузлии. В нашем исследовании у диплоидного набора сортов ржи увеличение числа проводящих пучков от верхнего до нижнего междоузлия составило от 11.8 до 30.7 шт., тогда как у тетраплоидного – от 11.0 до 30.6 шт., что демонстрирует сходный характер изменения признака независимо от уровня пloidности. Отсутствие различий между ди- и тетраплоидной рожью по числу проводящих пучков подтверждено результатами статистической обработки ($NSP_{0.05} > 0.05$).

Анализ коэффициентов вариации (V , %) позволил определить существенные различия по характеру изменчивости морфологических и анатомических признаков стебля у ди- и тетраплоидной озимой ржи. У тетраплоидных сортов устойчивость к полеганию характеризуется очень низкой изменчивостью ($V = 3.2$ %), тогда как у диплоидных варьирование этого признака выражено в средней степени ($V = 12.8$ %). Тетраплоидные формы ржи характеризуются не только более высокой устойчивостью к полеганию, но и ее стабильным проявлением у всех изученных сортов.

Высота растений и длина стебля в обеих группах пloidности отличаются низкой изменчивостью, но стоит отметить, что у тетраплоидных сортов варибельность суще-

ственно ниже ($V = 3.9$ против 6.6 % у диплоидных сортов), что свидетельствует о высокой генотипической выровненности тетраплоидных сортов по морфотипу растения. Высокая варибельность длины нижних междоузлий ($V = 18.1–20.1$ % длина 1-го междоузлия, и $V = 10.7–12.2$ % длина 2-го междоузлия) свойственна как ди-, так и тетраплоидной ржи. В то же время длина верхнего междоузлия у тетраплоидных форм отличается низкой изменчивостью ($V = 6.1$ %), а у диплоидов – средней ($V = 11.1$ %).

Диаметр междоузлий у тетраплоидов отличается низкой изменчивостью ($V = 7–9.3$ %), тогда как у диплоидов варьирование диаметров выражено в средней степени ($V = 12.6–17.8$ %). Толщина стенки стебля у ди- и тетраплоидных сортов сохраняет среднюю и повышенную изменчивость, особенно в нижних междоузлиях. Можно предположить, что у тетраплоидной ржи именно толщина стенки, а не диаметр стебля представляет собой основной резерв генетической изменчивости для селекции на прочность.

Число проводящих пучков ($CV < 9$ %) характеризовалось как признак с низкой варибельностью, не зависящий от уровня пloidности, что подтверждает его жесткую генетическую детерминированность и слабую подверженность влиянию внешних условий. Тогда как длина первого нижнего междоузлия контролируется генотипом и средой – $CV = 18.1$ % (диплоидная рожь) и 20.1 % (тетраплоидная рожь).

Таким образом, у тетраплоидной ржи наблюдаются укороченные междоузлия с увеличенной толщиной стенки стебля, что детерминирует повышенную устойчивость растений. Это подтверждается результатами исследования исходных сортов ржи и их тетраплоидных аналогов (Ермошкина, 2025). Диплоидная рожь, наоборот, характеризуется удлиненным стеблем и междоузлиями, а также увеличением диаметра междоузлия стебля и числа проводящих пучков, что может снижать механическую прочность стебля и повышать риск полегания.

Данные по устойчивости к полеганию и анатомо-морфологические признаки стебля образцов озимой ржи были проанализированы с помощью метода главных компонент. Использование этого метода для оптимизации матрицы коэффициентов корреляции позволило выявить 15 факторных нагрузок, определяющих 100 % накапливаемой дисперсии. Собственные значения факториальной нагрузки, превышающие единицу, используются для определения факторов, которые следует сохранить, так как они вносят больший вклад в изменчивость РС (principal component), чем признаки, близкие к нулю (Abdelghany et al., 2023). Для

Таблица 2. Основные показатели устойчивости к полеганию и характеристики стебля растений озимой ржи, 2018–2021 гг.
Table 2. The main indicators of lodging resistance and characteristics of the stem of winter rye plants, 2018–2021

Признак	Диплоидная рожь				Тетраплоидная рожь			
	X_{cp}	Lim	V, %	HCP	X_{cp}	Lim	V, %	HCP
Устойчивость к полеганию, балл	4.4	2.8–5.0	12.8	0.29	4.7	4.5–5.0	3.2	0.07
Высота растений, см	137.3	122.6–155.5	6.6	4.32	124.5	117.6–132.9	3.9	2.01
Длина стебля, см	122.3	109.1–141.1	6.8	4.20	108.5	101.7–116.4	3.9	1.93
Длина 1-го нижнего междоузлия, см	5.3	3.8–6.7	18.1	0.30	4.7	3.1–6.6	20.1	0.47
Длина 2-го нижнего междоузлия, см	11.9	9.9–14.3	10.7	0.58	10.6	8.3–12.7	12.2	0.58
Длина верхнего междоузлия, см	34.6	30.1–41.2	11.1	1.46	33.0	30.2–37.0	6.1	0.89
Диаметр 1-го нижнего междоузлия, мм	3.97	2.95–5.55	17.8	0.34	3.84	3.31–4.68	9.3	0.18
Диаметр 2-го нижнего междоузлия, мм	4.68	3.6–5.92	13.8	0.30	4.46	3.91–5.28	8.4	0.18
Диаметр верхнего междоузлия, мм	1.35	1.13–1.67	12.6	0.07	1.31	1.15–1.49	7.0	0.04
Толщина стенки 1-го нижнего междоузлия, мм	0.81	0.57–1.01	16.8	0.05	0.96	0.48–1.17	18.0	0.09
Толщина стенки 2-го нижнего междоузлия, мм	0.70	0.59–0.82	11.5	0.03	0.76	0.39–0.89	15.8	0.07
Толщина стенки верхнего междоузлия, мм	0.39	0.31–0.50	13.3	0.02	0.45	0.39–0.52	7.6	0.02
Число проводящих пучков 1-го нижнего междоузлия, шт.	30.7	27.4–35.6	8.7	1.08	30.6	27.2–33.0	6.1	0.71
Число проводящих пучков 2-го нижнего междоузлия, шт.	29.4	26.2–33.6	8.5	0.97	28.4	26.2–32.6	6.7	0.84
Число проводящих пучков верхнего междоузлия, шт.	11.8	11.0–13.0	4.9	0.26	11.0	10.2–12.6	5.6	0.18

Примечание. HCP_{0.05} > 0.05

диплоидной ржи первые четыре главные компоненты (PC1–PC4) имеют собственное значение 0.98, тогда как для тетраплоидной – пять главных компонент имеют собственное значение 1.26 (табл. 3). Остальные собственные значения меньше единицы, и соответствующие компоненты не учитывались. Для последующего анализа были отобраны четыре главные компоненты для диплоидной и пять компонент для тетраплоидной ржи, что обосновано их значительным кумулятивным вкладом в общую дисперсию, около 80 % (82.49 и 88.24 % соответственно) и собственными значениями, которые близки и больше единицы (0.98 и 1.26). Доля дисперсии диплоидной ржи первой главной компоненты (PC1) составила 34.35 %, второй (PC2) – 25.36 %, третьей (PC3) – 16.27 %, четвертой (PC4) – 6.51 %. У тетраплоидной ржи доля дисперсии включала: PC1 – 33.08 %, PC2 – 20.08 %, PC3 – 14.12 %, PC4 – 12.54 %, PC5 – 8.43 %. Таким образом, у тетраплоидной ржи, по сравнению с диплоидной, структура данных более сложная, что выявило больше компонент.

У диплоидной ржи первая главная компонента (PC1) показала высокие положительные нагрузки по признакам высоты растения (0.80) и длина стебля (0.81), а также отрицательные – с диаметром (от –0.64 до –0.69) и толщиной стенки

междоузлия (от –0.62 до –0.80) (табл. 4). Это классическое сочетание признаков, сопряженных с высотой растения и устойчивостью к полеганию, которое имеет тесную корреляционную связь (Дёмина, Косенко, 2015). Следовательно, при увеличении длины и диаметра стебля наблюдается уменьшение толщины его стенки, что снижает устойчивость к полеганию. Ведущая роль первой компоненты (PC1) отводится размеру стебля. Вторая компонента (PC2) сильнее связана с числом проводящих пучков в междоузлиях (от 0.58 до 0.91) и слабее – с длиной верхнего междоузлия (–0.62), диаметром второго нижнего и верхнего междоузлия (0.54 и 0.62 соответственно). Компонента отражает наличие обратной связи, когда увеличение диаметра междоузлий и числа проводящих пучков приводит к ослаблению общей устойчивости к полеганию. Эта компонента интерпретирована как «проводящая система стебля». В работе В.Г. Захарова и О.Д. Яковлевой (2014) высказано предположение, что корреляционная структура таких признаков способствует реализации высокой продуктивности колоса.

Компоненты PC3 и PC4 положительно связаны с длиной нижних междоузлий (от 0.75 до 0.76) и толщиной стенки второго междоузлия (0.60), а также отрицательно – с числом

Таблица 3. Собственные значения корреляционной матрицы
Table 3. Eigenvalues of the correlation matrix

Главные компоненты	Диплоидная рожь			Тетраплоидная рожь		
	Собственное значение	% от общей дисперсии	Сумма процентов	Собственное значение	% от общей дисперсии	Сумма процентов
PC1	5.15	34.35	34.35	4.96	33.08	33.08
PC2	3.80	25.36	59.71	3.01	20.08	53.15
PC3	2.44	16.27	75.98	2.12	14.12	67.27
PC4	0.98	6.51	82.49	1.88	12.54	79.81
PC5	0.85	5.65	88.14	1.26	8.43	88.24
PC6	0.60	3.99	92.13	0.59	3.90	92.15
PC7	0.40	2.69	94.81	0.56	3.74	95.89
PC8	0.38	2.51	97.32	0.22	1.45	97.33
PC9	0.16	1.08	98.40	0.19	1.28	98.62
PC10	0.12	0.81	99.20	0.14	0.90	99.52

проводящих пучков в верхнем междоузлии (–0.53). Эта компонента отражает размеры нижних междоузлий. Следовательно, удлинение нижних междоузлий стебля и уменьшение толщины его стенки снижает механическую прочность, что подтверждено в работе (Yang et al., 2022).

У тетраплоидной ржи наиболее важными характеристиками в PC1 были признаки диаметра междоузлий (от 0.77 до 0.84) и числа проводящих пучков (от 0.68 до 0.74). Выявлена также отрицательная связь с длиной верхнего междоузлия (–0.59). Уменьшение диаметра стебля и числа проводящих пучков в нем приводит к снижению механической прочности и гибкости стебля, что делает его менее устойчивым к внешним механическим нагрузкам. Компонента интерпретирована как «диаметр стебля и его проводящая система». Во многих научных работах число проводящих пучков имеет разную сопряженность с механической прочностью, в то время как А. Muszynska с коллегами (2021) выявили прямую корреляцию между числом пучков и устойчивостью, а С.В. Лазаревич (19996) показал важность чередования пучков разного размера со склеренхимными обкладками, указывая на то, что решающую роль играет соотношение размеров пучков и диаметра междоузлия. Вторая компонента включала признаки длины первого и второго нижних междоузлий (от 0.63 до 0.66) и числа проводящих пучков в них (от 0.51 до 0.57), формируя фактор «развитие нижних междоузлий». Третья компонента (PC3) включала высоту растения (0.69), длину стебля (0.74) и толщину стенки верхнего междоузлия (–0.55). Ведущая роль в этой компоненте отводится размеру стебля. Следовательно, при снижении высоты растений будет увеличиваться устойчивость к полеганию. В компонентах PC4 и PC5 выделены признаки толщины стенки нижнего междоузлия (0.54 и 0.73), длины первого нижнего и верхнего междоузлий (0.52 и 0.56), числа пучков в верхнем междоузлии (–0.55). Толщина стенки стебля является анатомическим признаком, который наиболее сильно коррелирует с устойчивостью к полеганию (Paska et al., 2015), что наблюдается в проведенном исследовании. Компоненты интерпретированы как «размеры нижних междоузлий».

Сравнительный анализ с использованием принципа главных компонент выявил значительные различия в детерминации устойчивости к полеганию у изучаемых сортообразцов ди- и тетраплоидной ржи. Установлено, что у генотипов диплоидной ржи устойчивость к полеганию значительно зависит от высоты растения, тогда как у тетраплоидной – от характеристики стебля, определяемой его диаметром и развитием проводящей системы. Полученные данные свидетельствуют о различной генетической и анатомо-морфологической основе исследуемого признака у изученного набора сортов озимой ржи с различной плоидностью. В результате проведенных исследований определены сорта российской и белорусской селекции, которые можно использовать в практической селекции в качестве источников устойчивости к полеганию с рекомендованными анатомо-морфологическими признаками: Короткостебельная 69, Талисман, Тетра короткая, Рокот 95 и Зазерская 3.

Заключение

Наше исследование показало, что удвоение числа хромосом в клетках ржи (метод полиплоидии) изменяет архитектуру растения. У генотипов тетраплоидной ржи такие признаки, как высота растений, длина верхнего междоузлия и число сосудистых пучков, варьируют у сортов гораздо слабее, чем у диплоидных. Тетраплоидная рожь демонстрирует более высокую устойчивость к полеганию (4.7 балла), что сопровождается снижением высоты растений на 9–11 %, уменьшением длины и диаметра междоузлий на 3–11 %. При этом толщина стенок междоузлий увеличивается на 3–19 %, а число проводящих пучков сокращается. Это говорит о том, что у тетраплоидной ржи высокая генетическая вариабельность по толщине стенки нижних междоузлий, особенно первого. Полученные данные позволили выделить высокоустойчивые к полеганию образцы среди диплоидной: Короткостебельная 69, Талисман – и тетраплоидной ржи: Тетра короткая, Рокот 95 и Зазерская 3.

Применение метода главных компонент позволило сократить объем экспериментальных данных для диплоидной ржи до четырех компонент, а для тетраплоидной ржи – до

Таблица 4. Корреляционная матрица главные компоненты × признаки
Table 4. Correlation matrix main components × features

Признак	Диплоидная рожь				Тетраплоидная рожь				
	PC1	PC2	PC3	PC4	PC1	PC2	PC3	PC4	PC5
Высота растений, см	0.80	0.33	0.27	0.32	0.49	-0.48	0.69	0.08	0.04
Длина стебля, см	0.81	0.28	0.29	0.32	0.40	-0.47	0.74	-0.01	0.01
Длина 1-го нижнего междоузлия, см	0.46	-0.20	0.75	-0.12	-0.23	0.66	0.43	0.52	0.14
Длина 2-го нижнего междоузлия, см	0.46	-0.11	0.76	0.02	-0.29	0.63	0.41	0.27	0.47
Длина верхнего междоузлия, см	0.41	-0.62	0.33	0.03	-0.59	0.36	-0.22	-0.26	0.56
Диаметр 1-го нижнего междоузлия, мм	-0.65	0.28	0.38	0.39	0.77	-0.07	-0.10	-0.34	0.31
Диаметр 2-го нижнего междоузлия, мм	-0.69	0.54	0.27	0.07	0.84	0.30	0.23	0.09	-0.15
Диаметр верхнего междоузлия, мм	-0.64	0.62	0.11	-0.09	0.84	0.42	-0.02	-0.18	0.04
Толщина стенки 1-го нижнего междоузлия, мм	-0.68	-0.34	0.49	0.22	0.41	-0.43	-0.34	0.37	0.54
Толщина стенки 2-го нижнего междоузлия, мм	-0.62	-0.10	0.60	-0.18	0.47	-0.30	-0.23	0.73	0.14
Толщина стенки верхнего междоузлия, мм	-0.80	0.26	0.14	0.12	0.29	-0.40	-0.55	0.39	-0.04
Число проводящих пучков 1-го нижнего междоузлия, шт.	0.14	0.80	0.29	-0.41	0.74	0.51	-0.04	0.03	-0.25
Число проводящих пучков 2-го нижнего междоузлия, шт.	0.22	0.91	0.04	-0.15	0.71	0.57	-0.12	0.24	0.06
Число проводящих пучков верхнего междоузлия, шт.	0.15	0.58	-0.30	-0.53	0.68	0.26	-0.27	-0.55	0.14

пяти. Это свидетельствует о более сложной структуре взаимосвязанных признаков, влияющих на устойчивость к полеганию у тетраплоидной ржи. Для диплоидной ржи ключевым фактором устойчивости к полеганию служит высота растения и стебля (PC1), в то время как у тетраплоидной ржи устойчивость определяется диаметром междоузлий стебля и числом проводящих пучков в них. Таким образом, высокая и стабильная устойчивость к полеганию обеспечивается комплексом взаимосвязанных анатомо-морфологических изменений, включающих уменьшение высоты растений и, что наиболее значимо, увеличение толщины стенок стебля и числа проводящих пучков.

В результате исследования установлено, что главным селекционным резервом у тетраплоидной ржи является толщина стенки нижних междоузлий. Дальнейшее улучшение устойчивости тетраплоидной ржи к полеганию возможно прежде всего через отбор на увеличение толщины стенки нижних междоузлий, а также через оптимизацию длины нижней части стебля. У диплоидной ржи селекция на устойчивость к полеганию должна опираться на высокую генетическую изменчивость длины, диаметра и толщины стенок нижних междоузлий, а также на прямой отбор наиболее устойчивых образцов (до 5.0 баллов). Дополнительно целесообразно оценивать толщину стенок стебля и число проводящих пучков.

Список литературы / References

- Гончаренко А.А. Производство и селекция озимой ржи в России. *Зерновое хозяйство России*. 2010;4:25-32 [Goncharenko A.A. Production and Breeding of Winter Rye in Russia. *Zernovoye khozyaystvo Rossii*. 2010;4:25-32 (in Russian)]
- Гордей И.С. Структурные изменения генома ржи при зиготической дупликации. *Молекулярная и прикладная генетика*. 2016;21:37-45 [Gordey I.S. Structural changes of rye genome after zygotic duplication. *Molekulyarnaya i prikladnaya genetika*. 2016;21:37-45 (in Russian)]
- Григулецкий В.Г. К вопросу устойчивости прямолинейной формы равновесия стеблей зерновых культур против полегания. Ч. 1. *Московский экономический журнал*. 2019a;9:532-557. doi 10.24411/2413-046X-2019-19015 [Griguletsky V.G. To the question of stability of rectilinear forms of balance cutters of grain crops against flashback. P. 1. *Moscow Econ J*. 2019a;9:532-557. doi 10.24411/2413-046X-2019-19015 (in Russian)]
- Григулецкий В.Г. К вопросу устойчивости прямолинейной формы равновесия стеблей зерновых культур против полегания. О максимальной высоте (длине) растений, не допускающей стеблевое полегание. Ч. 2. *Международный сельскохозяйственный журнал*. 2019b;5:40-43. doi 10.24411/2587-6740-2019-15082 [Griguletsky V.G. To the question of stability direct equilibrium forms of steps of grain crops against laying. About maximum height (length) plants not permitting a stem lodging. P. 2. *Mezhdunarodny'j sel'skoxozyajstvenny'j zhurnal*. 2019b;5:40-43. doi 10.24411/2587-6740-2019-15082 (in Russian)]
- Гудкова Г.Н. Анатомо-морфологические особенности *Hordeum* L., *Triticum* L. применительно к проблемам селекции: автореф. ... д-ра биол. наук. СПб., 1999

- [Gudkova G.N. Anatomical and morphological features of *Hordeum L.*, *Triticum L.* in relation to breeding problems. Abstract of the dissertation. St. Petersburg, 1999 (in Russian)]
- Дёмина И.Ф., Косенко С.В. Результаты оценки исходного материала яровой мягкой пшеницы на устойчивость к полеганию. *Вестник Алтайского государственного аграрного университета*. 2015;8:18-22
- [Demina I.F., Kosenko S.V. Results of evaluation of the spring soft wheat source material for lodging resistance. *Bull Altai State Agric Univ*. 2015;8:18-22 (in Russian)]
- Доспехов Б.А. Методы полевого опыта (с основами статистической обработки исследований). М., 2014
- [Dospikhov B.A. Methods of field experience (with the basics statistical processing of research). Moscow, 2014 (in Russian)]
- Егошин В.Л., Саввина Н.В., Гризбовский А.М. Анализ главных компонент и факторный анализ в программной среде R. *West Kazakhstan Medical J*. 2020;(1):6-14
- [Egoshin V.L., Savvina N.V., Grizhbovsky A.M. Principal component analysis and factor analysis in the R. *WKMJ*. 2020;(1):6-14 (in Russian)]
- 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
- [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)]
- Зайцева И.Ю., Щенникова И.Н. Сопряженность морфологических признаков с устойчивостью к полеганию ярового ячменя в условиях Волго-Вятского региона. *Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции*. 2020;181(3):32-40. doi 10.30901/2227-8834-2020-3-32-40
- [Zaitseva I.Yu., Schennikova I.N. The conjugation of morphological features with resistance to lodging of spring barley in the conditions of the Volga-Vyatka region. *Proc Appl Bot Genet Breed*. 2020;181(3):32-40. doi 10.30901/2227-8834-2020-3-32-40 (in Russian)]
- Захаров В.Г., Яковлева О.Д. Изменение качества зерна яровой мягкой пшеницы в процессе селекции. *Зерновое хозяйство России*. 2016;4:41-45
- [Zakharov V.G., Yakovleva O.D. Changing the grain quality of spring soft wheat in the breeding process. *Grain Econ Russ*. 2016;4:41-45 (in Russian)]
- Изучение и сохранение мировой коллекции ржи. Методические указания. СПб., 2015
- [Study and preservation of the world's rye collection. Methodological guidelines. Saint Petersburg, 2015 (in Russian)]
- Ионова Е.В. Методика оценки уровня развития проводящей системы колосонесущего междоузлия озимой пшеницы при различной водообеспеченности. *Зерновое хозяйство России*. 2009;4:18-22
- [Ionova E.V. Methodology for assessing the level of development of the conducting system of the ear-bearing internode of winter wheat with different water availability. *Grain Econ Russ*. 2009;4:18-22 (in Russian)]
- Кобылянский В.Д., Солодухина О.В. Роль ВНИИ растениеводства им. Н.И. Вавилова в инициации и становлении новых направлений в селекции озимой ржи в России. *Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции*. 2015;176(1):5-19. doi 10.30901/2227-8834-2015-1-5-19
- [Kobylansky V.D., Solodukhina O.V. The role of the Vavilov institute of plant industry in the initiation and development of new trends in winter rye breeding in Russia. *Proc Appl Bot Genet Breed*. 2014;176(1):5-19. doi 10.30901/2227-8834-2015-1-5-19
- Лазаревич С.В. Упругие свойства стебля пшеницы. *Известия Академии аграрных наук Республики Беларусь*. 1997;4:53-57
- [Lazarevich S.V. Elastic properties of wheat stalk. *Izvestiya Akademii agrarny' x nauk Respubliki Belarus'*. 1997;4:53-57 (in Russian)]
- Лазаревич С.В. Отклонения в строении проводящей системы стебля у пшеницы. В: Биологическая продуктивность растений и пути ее повышения. Минск, 1999а;35-41
- [Lazarevich S.V. Deviations in the structure of the conductive stem system in wheat. In: Biological productivity of plants and ways to increase it. Minsk, 1999a;35-41 (in Russian)]
- Лазаревич С.В. Эволюция анатомического строения стебля пшеницы. Минск, 1999б
- [Lazarevich S.V. Evolution of the anatomical structure of the wheat stalk. Minsk, 1999b (in Russian)]
- Леонова И.Н., Агеева Е.В. Картирование локусов, ассоциированных с устойчивостью к полеганию у яровой мягкой пшеницы (*Triticum aestivum L.*). *Вавиловский журнал генетики и селекции*. 2022;26(7):675-683. doi 10.18699/VJGB-22-82
- [Leonova I.N., Ageeva E.V. Mapping of loci associated with lodging resistance in spring soft wheat (*Triticum aestivum L.*). *Vavilovskii Zhurnal Genetiki i Seleksii = Vavilov J Genet Breed*. 2022;26(7):675-683. doi 10.18699/VJGB-22-82]
- Методика государственного сортоиспытания сельскохозяйственных культур. Вып. 2. Зерновые, крупяные, зернобобовые, кукуруза и кормовые культуры. М., 1989. Доступно: https://gossortrf.ru/upload/2019/08/metodica_2.pdf
- [Methodology of state variety testing of agricultural crops. Part 2. Cereals, cereals, legumes, corn and forage crops. Moscow, 1989. Available: https://gossortrf.ru/upload/2019/08/metodica_2.pdf (in Russian)]
- Никитин В.В., Бобин Д.В. Метод главных компонент для взвешенных данных в процедуре многомерного статистического прогнозирования. *Статистика и экономика*. 2021;18(2):4-11. doi 10.21686/2500-3925-2021-2-4-11
- [Nikitin V.V., Bobin D.V. The method of main components for weighted data in the procedure of multidimensional statistical forecasting. *Stat Econ*. 2021;18(2):4-11. doi 10.21686/2500-3925-2021-2-4-11 (in Russian)]
- Привалов А.Я. Полегание озимой ржи и пути его устранения. Воронеж, 1993
- [Privalov A.Ya. Lodging of winter rye and ways of its elimination. Voronezh, 1993 (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., Aniskov N.I., Kobylansky V.D. The database of genetic resources of the VIR winter rye collection as a means of classifying genetic diversity, analyzing the history of the collection and effectively studying and preserving it. *Vavilovskii Zhurnal Genetiki i Seleksii = Vavilov J Genet Breed*. 2019;23(6):150-156. doi 10.18699/VJ19.552 (in Russian)]
- Сорокин О.Д. Прикладная статистика на компьютере. Новосибирск, 2012
- [Sorokin O.D. Applied statistics on a computer. Novosibirsk, 2012 (in Russian)]
- Abdelghany M., Makhmer K., Zayed E.M., Salama Y., Amer K. Genetic variability, principle components and cluster analysis of twenty-eight Egyptian wheat genotypes. *Sci J Agric Sci*. 2023;5(1):107-118. doi 10.21608/sjas.2023.179573.1272
- Berry P.M., Sterling M., Spink J.H., Baker C.J., Sylvester-Bradley R., Mooney S.J., Tams A.R., Ennos A.R. Understanding and reducing lodging in cereals. *Adv Agron*. 2004;84:217-271
- Bisht D., Kumar N., Singh Y., Malik R., Djalovic I., Dhaka N.S., Pal N., Balyan P., Mir R.R., Singh V.K., Dhankher O.P., Kumar U., Kumar S. Effect of stem structural characteristics and cell wall components related to stem lodging resistance in a newly identified mutant of hexaploid wheat (*Triticum aestivum L.*). *Front Plant Sci*. 2022;13:1067063. doi 10.3389/fpls.2022.1067063
- 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
- Das Sh., Das S.S., Chakraborty I., Roy N., Nath M.K., Sarma D., Principal component analysis in plant breeding. *Biomol Rep*. 2017;3:1-3
- Devesh P., Moitra P.K., Shukla R.S., Pandey S. Genetic diversity and principal component analyses for yield, components and quality traits

- of advanced lines of wheat. *J Pharmacogn Phytochem.* 2019;8:4834-4839
- Efimov V.M., Efimov K.V., Kovaleva V.Y. Principal component analysis and its generalizations for any type of sequence (PCA-Seq). *Vavilov J Genet Breed.* 2019;23(8):1032-1036. doi 10.18699/VJ19.584
- Fouad H. Principal component and cluster analyses to estimate genetic diversity in bread wheat (*Triticum aestivum* L.) genotypes. *J Plant Prod.* 2020;11(4):325-331. doi 10.21608/jpp.2020.90015
- Grądzielewska A., Milczarski P., Molik K., Pawłowska E. Identification and mapping of a new recessive dwarfing gene *dw9* on the 6RL rye chromosome and its phenotypic effects. *Plos One.* 2020;15(3):e0229564. doi 10.1371/journal.pone.0229564
- Gong D., Wang Y., Chen Y., Liu X., Yu G. Effects of increased planting density and reduced nitrogen application on rice lodging resistance yield and quality. *Sci Rep.* 2025;15(1):25524. doi 10.1038/s41598-025-10955-6
- Mahone G.S., Frisch M., Bauer E., Haseneyer G., Miedaner T., Falke K.C. Detection of donor effects in a rye introgression population with genome-wide prediction. *Plant Breeding.* 2015;134(4):406-415. doi 10.1111/pbr.12283
- Muszynska A., Guendel A., Melzer M., Tandron Moya Y.A., Röder M.S., Rolletschek H., Rutten T., Munz E., Melz G., Ortleb S., Borisjuk L., Börner A. A mechanistic view on lodging resistance in rye and wheat: a multiscale comparative study. *Plant Biotechnol J.* 2021;19(12):2646-2661. doi 10.1111/pbi.13689
- Packa D., Wiwart M., Suchowilska E., Bienkowska T. Morpho-anatomical traits of two lowest internodes related to lodging resistance in selected genotypes of *Triticum*. *Int Agrophys.* 2015;29:475-483. doi 10.1515/intag-2015-0053
- Priya B., Diyali S., Mukherjee S., Srinivasarao M. Genetic diversity based on cluster and principal component analysis in wheat and triticales genotypes. *Res Crops.* 2015;16(4):712-718. doi 10.5958/2348-7542.2015.00100.X
- Sattler M.C., Carvalho C.R., Clarindo W.R. The polyploidy and its key role in plant breeding. *Planta.* 2016;243(2):281-296. doi 10.1007/s00425-015-2450-x
- Yang W.B., Qin Z.L., Sun H., Hou Q.L., Gao J.G., Chen X.C., Zhang L.P., Wang Y.B., Zhao C.P., Zhang F.T.. Analysis of combining ability for stem-related traits and its correlations with lodging resistance heterosis in hybrid wheat. *J Integr Agric.* 2022;21(1):26-35. doi 10.1016/S2095-3119(20)63408-6

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Поступила в редакцию 20.11.2025. После доработки 16.02.2026. Принята к публикации 26.02.2026