



Морфологические и хозяйственные признаки сортов озимой ржи в связи с устойчивостью к полеганию

Н. А. Набатова, Е. С. Парфенова, Е. И. Уткина, М. Г. Шамова, Е. А. Псарева, М. Н. Жукова

Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока им. Н.В. Рудницкого, Киров, Россия

Автор, ответственный за переписку: Елена Сергеевна Парфенова, elka1745@yandex.ru

Актуальность. Устойчивость к полеганию озимой ржи связана с морфологическими признаками стебля. В селекции неполегающих продуктивных сортов для поиска исходного материала необходимо изучить сортовое фенотипическое разнообразие по морфологическим признакам соломины, влияющим на устойчивость к полеганию и продуктивность колоса.

Материалы и методы. Экспериментальная работа проведена в 2017–2020 гг. в Федеральном аграрном научном центре Северо-Востока им. Н.В. Рудницкого (ФАНЦ Северо-Востока, г. Киров). Оценивали полевую устойчивость к полеганию, морфологические признаки соломины, урожайность, продуктивность колоса у 16 сортов озимой ржи. Изучение сортов проводили в соответствии с Международным классификатором рода *Secale* L. и Методикой государственного сортоиспытания сельскохозяйственных культур. В лабораторных условиях у 10 растений каждого сорта определяли массу отрезков вторых нижних междоузлий.

Результаты и выводы. Установлены отрицательные корреляции устойчивости к полеганию с длиной соломины ($r = -0,55$) и массой второго нижнего междоузлия ($r = -0,65$). Продуктивность колоса сортов ржи достоверно связана с толщиной стенки ($r = 0,52$) и длиной второго нижнего междоузлия ($r = -0,52$). По результатам путевого анализа основными причинами снижения устойчивости к полеганию были масса отрезка ($P = -0,467$) и длина второго нижнего междоузлия ($P = -0,408$); причиной повышения устойчивости была толщина стенки второго нижнего междоузлия ($P = 0,424$). Сорта достоверно различались по устойчивости к полеганию ($HSP_{05} = 0,8$). Выделены сорта 'Московская 12', 'Татьяна', 'Былина', 'Янтарная', предлагаемые в качестве исходного материала для селекции на устойчивость к полеганию.

Ключевые слова: селекция, корреляция, соломина, междоузлие, длина, масса, отрезок, продуктивность, колос

Благодарности: работа выполнена в рамках государственного задания по теме НИР № FSZS-2019-0095 «Разработка и внедрение фундаментальных научных инновационных подходов, ориентированных на изучение и использование разнообразия генетических ресурсов, создание адаптивных генисточников озимой ржи с комплексным сочетанием улучшенных параметров селекционно ценных признаков; на создание сортов озимой ржи северного экотипа целевого использования с повышенной зимостойкостью, стабильной продуктивностью, устойчивостью к биотическим и абиотическим стрессорам; на разработку технологии производства современных сортов для повышения эффективности использования их продуктивного потенциала с учетом изменения климатических условий и нарастания фитопатогенной нагрузки для укрепления продовольственной безопасности страны и создания продуктов здорового питания».

Авторы благодарят рецензентов за их вклад в экспертную оценку этой работы.

Для цитирования: Набатова Н.А., Парфенова Е.С., Уткина Е.И., Шамова М.Г., Псарева Е.А., Жукова М.Н. Морфологические и хозяйственные признаки сортов озимой ржи в связи с устойчивостью к полеганию. *Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции*. 2022;183(4):73-87. DOI: 10.30901/2227-8834-2022-4-73-87

Original article

DOI: 10.30901/2227-8834-2022-4-73-87

Morphological and agronomic characteristics of winter rye cultivars in connection with their resistance to lodging

Nataliya A. Nabatova, Elena S. Parfenova, Elena I. Utkina, Marina G. Shamova, Ekaterina A. Psareva, Mariya N. Zhukova

*Federal Agricultural Research Center of the North-East named N.V. Rudnitsky, Kirov, Russia***Corresponding author:** Elena S. Parfenova, elka1745@yandex.ru

Background. Lodging resistance of winter rye is associated with morphological features of the stem. Searching for source material to breed non-lodging high-yielding cultivars requires studying the varietal phenotypic diversity according to morphological characters of the stem that affect the resistance to lodging and the productivity of the ear.

Materials and methods. Experiments were carried out in 2017–2020 at the Federal Agricultural Research Center of the North-East (FARC North-East), Kirov. Field resistance to lodging, morphological characteristics of the stem, yield, and ear productivity were evaluated in 16 winter rye cultivars. The study was based on the International COMECON List of Descriptors for the Genus *Secale* L., and Methodology for the State Variety Trials of Agricultural Crops. The weight of segments of the second lower internodes was measured in 10 plants of each cultivar under laboratory conditions.

Results and conclusions. Negative correlations of lodging resistance with stem length ($r = -0.55$) and the weight of the second lower internode ($r = -0.65$) were revealed. Ear productivity of rye cultivars was significantly associated with the wall thickness ($r = 0.52$) and the length of the second lower internode ($r = -0.52$). According to the results of the path analysis, the main causes of a decrease in lodging resistance were the weight of the segment ($P = -0.467$) and the length of the second lower internode ($P = -0.408$), while an increase was connected with the wall thickness of the second lower internode ($P = 0.424$). The cultivars differed significantly in their resistance to lodging ($LSD_{05} = 0.8$). Cvs. 'Moskovskaya 12', 'Tatyana', 'Bylina' and 'Yantarnaya' were identified; they are recommended as source material for breeding for lodging resistance.

Keywords: breeding, correlation, stem, internode, length, weight, segment, productivity, ear

Acknowledgements: the research was performed within the framework of the State Task, research theme No. FSZS-2019-0095 "Development and implementation of fundamental scientific innovative approaches focused on the study and use of the diversity of genetic resources, generation of adaptable genetic sources of winter rye with a complex combination of improved parameters of traits valuable for breeding; on the development of winter rye cultivars of the northern ecotype for targeted use with increased winter hardiness, stable productivity, resistance to biotic and abiotic stressors; on the development of a technology for the production of modern cultivars to improve the efficiency of implementing their productive potential, taking into account changes in climatic conditions and an increase in phytopathogenic pressure to strengthen the country's food security and release healthy food products".

The authors thank the reviewers for their contribution to the peer review of this work.

For citation: Nabatova N.A., Parfenova E.S., Utkina E.I., Shamova M.G., Psareva E.A., Zhukova M.N. Morphological and agronomic characteristics of winter rye cultivars in connection with their resistance to lodging. *Proceedings on Applied Botany, Genetics and Breeding*. 2022;183(4):73-87. DOI: 10.30901/2227-8834-2022-4-73-87

Введение

Озимая рожь (*Secale cereale* L. var. *vulgare* Koern.) как высокорослая культура склонна к полеганию. Потери урожая ржи при механизированной уборке полегших посевов достигают 50%, биологический урожай снижается до 20%. Повышение устойчивости озимой ржи к полеганию способствует более полной реализации потенциала ее продуктивности (Kobylyansky et al., 1989; Chaikin et al., 2013). Негативным последствием полегания озимой ржи является ухудшение посевных качеств семян, хлебопекарных и технологических свойств зерна. Недобор урожая озимой ржи зависит от фазы развития растений при наступлении полегания. По данным С. Ф. Тихвинского и Л. К. Буториной (Tikhvinsky, Butorina, 1983), при полегании в фазу колошения отмечено уменьшение озерненности колоса, снижение массы 1000 зерен (на 20–25%) и продуктивной кустистости. Наиболее опасно полегание в фазу цветения, когда резко снижается завязываемость зерна: потери урожая могут достигать 70%. Полегание растений в период «молочная – восковая спелость» вызывает снижение урожая до 15–18%. Часто встречающееся полегание в период созревания зерна в меньшей степени отражается на структуре урожая. При полегании в эту фазу снижается в основном масса 1000 зерен (Tikhvinsky, Butorina, 1983; Rovdo, Artsiukh, 2021). Устойчивость растений ржи к полеганию значительно зависит от высоты стебля, его морфологических и анатомических особенностей. Изучение связи устойчивости к полеганию с анатомо-морфологическими особенностями стебля и хозяйственными признаками представляет определенный интерес для озимой ржи и других зерновых культур (Lukyanova, 2008; Torop et al., 2011; Zakharov et al., 2014; Griguletskiy, 2019; Zaytseva, Shchennikova, 2020).

Повышение устойчивости к полеганию ржи только за счет укорочения стебля сопряжено с риском снижения урожайности (Goncharenko et al., 1990; Chaikin et al., 2021). В работе А. А. Гончаренко с соавторами (Goncharenko et al., 1990) показано, что отбор на снижение высоты растений (то есть в минус-направлении) без существенного снижения урожайности возможен только для материала с рецессивным типом короткостебельности, поэтому большое значение имеет селекционное улучшение популяций при отборе на высокую прочность стебля. Определенное значение для селекции на устойчивость растений ржи к полеганию имеют количественные признаки второго от корня междоузлия – длина, масса, диаметр, толщина стенки, которые напрямую показывают степень развития механических тканей стебля и косвенно характеризуют устойчивость растений к полеганию (Kobylyansky et al., 1989; Torop et al., 2011). Проведенные Wójtowicz et al. (2020) микроскопические наблюдения свидетельствуют о значительной механической прочности у второго нижнего междоузлия стебля ржи за счет диаметра и толщины стенки, что имеет большое значение для стабилизации надземной части растения. По мнению М. Л. Пономарева, С. Н. Пономарева (Ponomareva, Ponomarev, 2004), устойчивость к полеганию возрастает при уменьшении нагрузки на нижнее междоузлие. Установлена положительная связь устойчивости ржи к полеганию с толщиной склеренхимы (Muszynska et al., 2021) и толщиной стенки второго нижнего междоузлия (Ponomareva, Ponomarev, 2004; Muszynska et al., 2021; Zuo et al., 2021); массой (Ponomareva, Ponomarev, 2004) и диаметром второго нижнего междоузлия (Ponomareva, Ponomarev, 2004; Zuo et al., 2021). В работе Zuo et al. (2021) вы-

явлена отрицательная корреляция между устойчивостью ржи к полеганию и длиной первого и второго нижних междоузлий стебля. Показатели диаметра и толщины стенки второго нижнего междоузлия предложены (Ponomareva, Ponomarev, 2004) как критерии для оценки устойчивости растений к полеганию, а удельная масса соломины – как косвенный показатель устойчивости к полеганию. В селекции ржи на повышение устойчивости к полеганию рекомендован (Ponomareva, Ponomarev, 2004) многократный отбор по прочности стебля на излом (независимо от генетического контроля высоты растений), а также по массе или диаметру второго нижнего междоузлия.

Устойчивость к полеганию оценивают прямым методом визуальной оценки в полевых условиях, а также косвенными методами. Лабораторные методы оценки устойчивости (сопротивление стебля на излом, скорость склеификации клеточных стенок) требуют использования при анализе различного оборудования и реактивов (Tetryatchenko, 1984). Практический интерес представляет «Способ отбора устойчивых к полеганию форм зерновых колосовых злаков» (Torop et al., 2008), заключающийся в определении массы одинаковых по длине отрезков нижних междоузлий и отборе растений с максимальной массой отрезка как устойчивых к полеганию и высокопродуктивных (Torop et al., 2011). Отбор по морфологическим признакам соломины может сократить затраты и упростить процесс селекции в этом направлении (Tetryatchenko, 1984; Torop et al., 2020).

Для создания неполегающих и высокоурожайных сортов озимой ржи необходим исходный материал с наследственно обусловленной высокой устойчивостью к полеганию в сочетании с высокой продуктивностью и приспособленностью к агроклиматическим условиям региона (Kedrova et al., 2012). Селекционные сорта озимой ржи представляют определенный интерес как исходный материал благодаря разнообразию ценных признаков и свойств (Ivanov, 1961). Для оценки этих сортов на пригодность в качестве исходного материала для селекции необходимо их изучение по устойчивости к полеганию, хозяйственным и морфологическим признакам.

Цель исследования состояла в установлении влияния морфологических признаков соломины на устойчивость к полеганию и продуктивность колоса сортов озимой ржи.

Материалы и методы

Полевое изучение сортов проходило на опытном поле Федерального аграрного научного центра Северо-Востока им. Н.В. Рудницкого (ФАНЦ Северо-Востока, г. Киров) в 2017–2020 гг. Объектом исследования служили 16 сортов озимой ржи (*S. cereale* L. var. *vulgare* Koern.) (таблица 1). По срокам созревания сорта относятся к среднеспелой ('Московская 12', 'Былина', 'Таловская 33', 'Саратовская 7', 'Памяти Бамбышева'), среднепоздней ('Вятка 2', 'Фаленская 4', 'Татьяна', 'Паром', 'Алиса', 'Антарес', 'Безенчукская 87', 'Роксана') и позднеспелой группе ('Янтарная', 'Памяти Кунакбаева', 'Чулпан 7'). Сорта 'Вятка 2', 'Московская 12', 'Саратовская 7', 'Антарес', 'Памяти Бамбышева', 'Безенчукская 87', 'Былина' имеют рецессивный генетический контроль длины стебля; сорта 'Фаленская 4', 'Татьяна', 'Чулпан 7', 'Роксана', 'Паром', 'Янтарная', 'Таловская 33' имеют доминантный генетический контроль длины стебля. Учетная площадь делянки – 5 м², повторность опыта 2-кратная, коэффициент высе-

Таблица 1. Сортимент озимой ржи для изучения
(ФАНЦ Северо-Востока, г. Киров, 2017–2020 гг.)**Table 1. Winter rye cultivars included in the study**
(FARC North-East, Kirov, 2017–2020)

Учреждение-заявитель / Applicant institution	Сорта / Cultivars	Регионы допуска / Regions of approval
ФАНЦ Северо-Востока / FARC North-East	Вятка 2 / Vyatka 2	Северный / Northern, Северо-Западный / Northwestern, Волго-Вятский / Volga-Vyatka
	Фаленская 4 / Falenskaya 4	Северный / Northern, Северо-Западный / Northwestern, Волго-Вятский / Volga-Vyatka, Центральный / Central
ФИЦ «Немчиновка» / Nemchinovka FRC	Московская 12 / Moskovskaya 12	Северо-Западный / Northwestern, Центральный / Central, Центрально-Черноземный / Central Black Earth
	Татьяна / Tatyana	Северо-Западный / Northwestern, Волго-Вятский / Volga-Vyatka, Центральный / Central, Средневолжский / Middle Volga
Уральский НИИСХ / Ural Research Institute of Agriculture	Паром / Parom, Алиса / Alisa, Янтарная / Yantarnaya	Волго-Вятский / Volga-Vyatka
Ленинградский НИИСХ / Leningrad Research Institute of Agriculture	Былина / Bylina	Северо-Западный / Northwestern
НИИСХ ЦЧП им. В.В. Докучаева / V.V. Dokuchaev Research Institute of Agriculture	Таловская 33 / Talovskaya 33	Центральный / Central, Центрально-Черноземный / Central Black Earth, Средневолжский / Middle Volga
Башкирский НИИСХ / Bashkir Research Institute of Agriculture	Памяти Кунакбаева / Pamyati Kunakbayeva	Волго-Вятский / Volga-Vyatka, Средневолжский / Middle Volga
	Чулпан 7 / Chulpan 7	Волго-Вятский / Volga-Vyatka, Уральский / Ural, Западно-Сибирский / West Siberian
НИИСХ Юго-Востока / Research Institute of Agriculture of the South-East	Саратовская 7 / Saratovskaya 7	Центрально-Черноземный / Central Black Earth, Уральский / Ural, Средневолжский / Middle Volga, Нижневолжский / Lower Volga
	Памяти Бамбышева / Pamyati Bambysheva	Средневолжский / Middle Volga, Нижневолжский / Lower Volga
Самарский НИИСХ / Samara Research Institute of Agriculture	Антарес / Antares	Средневолжский / Middle Volga
	Безенчукская 87 / Bezenchukskaya 87	Волго-Вятский / Volga-Vyatka, Центрально-Черноземный / Central Black Earth, Средневолжский / Middle Volga
	Роксана / Roksana	Средневолжский / Middle Volga

ва – 6 млн всхожих семян на 1 га, посев рядовой с междурядьями 15 см.

Оценки и учет урожая проводили согласно Методике государственного сортоиспытания сельскохозяйственных культур (Fedin, 1985), Международному классификатору рода *Secale L.* (International COMECON..., 1984). Устойчивость к стеблевому полеганию определяли однократно перед уборкой путем визуальной оценки в полевых условиях (в каждом повторении). Использовали пятибалльную шкалу согласно методике (Fedin, 1985), где неполегавшие сорта получают 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. Сорта с оценкой 3,6 балла (то есть округленно 4 балла) и более отнесены нами условно к группе устойчивых к полеганию; сорта с оценкой 3,5 балла и менее (то есть округленно 3 балла) – к группе слабоустойчивых сортов, полегающих в средней и сильной степени. В фазу созревания после уборки у 10 растений каждого сорта в лабораторных условиях выполняли подсчет и взвешивание зерна с главного колоса, измерение длины соломины, определение признаков второго нижнего междоузлия (длина, масса, толщина стенки, наружный диаметр). Определяли массу отрезка 1 см второго нижнего междоузлия, используемого в качестве косвенного показателя степени развития механических и проводящих тканей соломины (ее плотности), согласно методике Е. А. Тороп с соавторами (Тороп et al., 2008). Толщину стенки и наружный диаметр междоузлия измеряли меха-

ническим штангенциркулем. Междоузлия взвешивали на весах ВЛКТ-500, их отрезки – на аналитических весах Gibertini Elettronica S.R.L. Статистическую обработку данных проводили методами дисперсионного однофакторного (определение достоверности различий по НСР), корреляционно-регрессионного (определение коэффициентов корреляции Пирсона и коэффициентов регрессии), путевого анализа (определение путевых коэффициентов R) с использованием программ AGROS 2.07, MS Excel Office 2019. Путевой анализ, позволяющий разложить корреляцию зависимой переменной (устойчивости к полеганию) с каждой независимой переменной (морфологическими признаками соломины) на прямой и косвенные эффекты признака, проводили по методу S. Wright (1921), изложенному в руководстве пользователя программы AGROS версии 2.07. Коэффициент вариации (CV), характеризующий фенотипическую изменчивость признаков, рассчитывали как отношение среднего квадратического отклонения к средней арифметической, выраженное в процентах (CV менее 10% – слабая изменчивость, 10–20% – средняя, более 20% – сильная изменчивость).

Опытный участок расположен в центральной агроклиматической зоне Кировской области с достаточной для выращивания озимой ржи обеспеченностью влагой и теплом (сумма осадков в среднем за год составляет 500–680 мм, сумма среднесуточных температур выше 10°C 1700–1900°C). Рельеф опытного участка равнинный, почва дерново-подзолистая, тяжелосуглинистая, $pH_{\text{сол}} = 4,0$ ед., содержание гумуса составляет 1,37%, фосфора – 190 мг/100 г почвы, калия – 221 мг/100 г почвы. Погодные условия 2017–2020 гг. отличались неустойчивой динамикой (табл. 2). В связи с отклонениями от климатической нормы отмечали смещение фаз развития ржи на 12–20 дней позднее среднесуточных сроков в 2017 г. (недостаток тепла в период «кущение – колошение» в мае-июне), в 2018 г. (повторное образование снежного покрова высотой до 35 см в третьей декаде апреля), в 2019 г. (недостаток тепла в июле в период созревания

зерна). В различных агрометеорологических условиях устойчивость к полеганию и длина соломины ржи варьировали. Вегетационный период 2017 г. характеризовался избыточным увлажнением в мае и июне, что способствовало росту растений в высоту и провоцировало полегание. В 2018 и 2019 г., в условиях недостатка влаги в мае и тепла в июне, средняя длина соломины снижалась, при этом устойчивость к полеганию изменилась незначительно. Погодные условия 2020 г. были наиболее близкими к оптимальным для роста и развития растений за период исследований; фенологические фазы ржи отмечали в сроки, близкие к среднесуточным. При этом устойчивость к полеганию была наибольшей (3,9 балла).

Результаты и обсуждение

Для хозяйственных и морфологических признаков сортов была характерна значительная фенотипическая изменчивость, определенная по коэффициенту вариации среднего значения за период изучения (табл. 3). Среди морфологических признаков наименее изменчивыми были масса отрезка и диаметр второго нижнего междоузлия (CV = 11–12%). Также средняя изменчивость отмечена для устойчивости к полеганию, массы зерна с колоса и урожайности (CV составил 13, 15 и 17% соответственно). Высокоизменчивыми в разных условиях выращивания были длина соломины, а также длина, масса и толщина стенки второго нижнего междоузлия (CV = 21–30%).

В годы, различные по метеоусловиям периода вегетации, изменялся и характер корреляции между признаками. Среди морфологических признаков ржи длина соломины является неоднозначным признаком, так как может влиять на полегание, а также на продуктивность колоса, поскольку, по данным В. В. Чайкина с соавторами (Chaikin et al., 2021), стебель сортов ржи традиционного морфотипа имеет важное значение для фотосинтеза и обеспечения колоса метаболитами. В свою очередь, продуктивность колоса является элементом структуры

Таблица 2. Агрометеорологические условия выращивания сортов
(ФАНЦ Северо-Востока, г. Киров, 2017–2020 гг.)

Table 2. Agrometeorological conditions in the cultivation area
(FARC North-East, Kirov, 2017–2020)

Год / Year	Среднесуточная температура воздуха, °C / Mean daily air temperature, °C			Сумма осадков за месяц, мм / Monthly rainfall, mm		
	Май / May	Июнь / June	Июль / July	Май / May	Июнь / June	Июль / July
2017	7,6	13,5	17,6	55,7	88,8	159,0
	-3,7	-2,9	-1,3	96	103	175
2018	11,6	14,1	20,6	35,1	85,5	113,4
	0,3	-2,3	1,7	61	99	125
2019	13,6	15,9	16,0	37,8	98,0	56,7
	2,3	-0,5	-2,9	65	114	62
2020	12,2	15,1	20,5	88,8	64,5	100,1
	0,9	-1,3	1,6	153	75	110

Примечание: верхняя строка – значение, нижняя – отклонение от нормы в градусах для температуры и в % для суммы осадков
Note: the top line is the value, and the bottom line is the deviation from the norm in °C for the temperature and in % for the rainfall
(<http://www.pogodaiklimat.ru/monitor.php?id=27199&month=10&year=2021>)

Таблица 3. Фенотипическая изменчивость признаков сортов (ФАНЦ Северо-Востока, г. Киров, 2017–2020 гг.)
 Table 3. Phenotypic variability of characters in the cultivars (FARC North-East, Kirov, 2017–2020)

Годы / Years	Урожайность, т/га / Yield, t/ha	Устойчивость к полеганию, балл / Lodging resistance, score	Длина, см / Length, cm		Междузлия / Internode	Масса, г / Weight, g			Диаметр междузлия, мм / Internode diameter, mm	Толщина стенки междузлия, мм / Internode wall thickness, mm
			Соломинки / Stem	Междузлия / Internode		Междузлия / Internode	Отрезка междузлия / Internode segment	Зерна с колоса / Grain per ear		
2017	3,2 ± 0,2	3,0 ± 0,2	145 ± 2,1	8,3 ± 0,5	0,22 ± 0,01	0,027 ± 0,002	1,35 ± 0,08	3,81 ± 0,07	-	
2018	2,4 ± 0,3	3,8 ± 0,1	103 ± 3,4	4,8 ± 0,2	0,11 ± 0,01	-	1,99 ± 0,05	3,03 ± 0,05	0,53 ± 0,04	
2019	2,2 ± 0,3	3,1 ± 0,2	93 ± 3,4	8,2 ± 0,3	0,19 ± 0,01	0,022 ± 0,001	1,75 ± 0,10	3,03 ± 0,09	0,31 ± 0,01	
2020	2,5 ± 0,1	3,9 ± 0,2	129 ± 3,4	9,2 ± 0,5	0,21 ± 0,01	0,024 ± 0,001	1,77 ± 0,05	3,67 ± 0,10	0,34 ± 0,01	
Среднее / Mean	2,6 ± 0,11	3,5 ± 0,2	118 ± 12,0	7,6 ± 1,0	0,18 ± 0,02	0,024 ± 0,002	1,72 ± 0,27	3,39 ± 0,21	0,39 ± 0,07	
CV, %	17	13	21	25	27	11	15	12	30	

Примечание: среднее за год ± ошибка среднего
 Note: mean for the year ± error of the mean

урожае ржи. Однако в нашем исследовании не выявлено достоверной связи между длиной соломины и массой зерна с колоса (вероятно, с связи с особенностью выборки, состоящей из сортов с разным морфотипом, обусловленным различным генетическим контролем длины стебля). При этом в отдельные годы установлена достоверная связь между урожайностью, длиной соломины, устойчивостью к полеганию, а также между устойчивостью к полеганию и длиной соломины. Длина соломины была достоверно связана с урожайностью в большинстве лет опыта. Наибольшая урожайность получена в 2017 г. при максимальной средней длине соломины. В целом характер связи между урожайностью и длиной соломины зависел от величины признака длины соломины (табл. 4).

сены 'Московская 12', 'Татьяна', 'Фаленская 4', 'Янтарная', 'Былина', 'Паром', 'Роксана' (их различия с сортом 'Московская 12' недостоверны). Слабоустойчивыми к полеганию были сорта 'Саратовская 7', 'Таловская 33', 'Памяти Кунакбаева', 'Алиса', 'Чулпан 7', 'Памяти Бамбышева', 'Вятка 2', 'Безенчукская 87', 'Антарес', которые показали достоверно меньшую устойчивость к полеганию (3,5 балла и менее) по сравнению с сортом 'Московская 12'. Устойчивые к полеганию сорта достоверно превосходили слабоустойчивые в среднем на 0,7 балла ($t_{\text{факт}} = 5,70 > t_{05} = 2,15$ при 14 степенях свободы).

Межгодовая изменчивость устойчивости к полеганию, определенная у каждого сорта как коэффициент вариации устойчивости к полеганию по годам, находилась в широких пределах (8–35%). Слабоустойчивые сорта

Таблица 4. Коэффициенты корреляции между урожайностью, устойчивостью к полеганию, длиной соломины
(ФАНЦ Северо-Востока, г. Киров, 2017–2020 гг.)

Table 4. Correlation coefficients between yield, lodging resistance, and stem length
(FARC North-East, Kirov, 2017–2020)

Годы / Years	2017	2018	2019	2020
Урожайность / Yield				
Длина соломины / Stem length	-0,61*	0,60*	0,72*	-0,34
Устойчивость к полеганию / Lodging resistance	0,41	0,01	0,71*	0,26
Устойчивость к полеганию / Lodging resistance				
Длина соломины / Stem length	-0,51*	-0,29	0,32	-0,80*

Примечание: * – значимо на 5-процентном уровне; число наблюдений: 16

Note: * – statistically significant at the 5% level; number of observations: 16

При уменьшении длины соломины связь положительная (2018, 2019 г.), при увеличении – отрицательная (2017, 2020 г.). Это связано с полеганием сортов, что подтверждает достоверная корреляция между устойчивостью к полеганию и длиной соломины в 2017 и 2020 г. При уменьшении длины соломины связь с устойчивостью к полеганию была недостоверной. Корреляция между устойчивостью к полеганию и урожайностью зерна была недостоверной в 2017, 2018, 2020 г. и статистически значимой в неблагоприятных условиях вегетации 2019 г. (засушливый май, дождливый прохладный июнь), когда урожайность и длина соломины были минимальными. Вероятно, влияние устойчивости к полеганию на урожайность сильнее проявилось в неблагоприятных условиях вегетации; кроме того, устойчивость к полеганию не является единственным фактором, определяющим урожайность сортов в период изучения. Таким образом, увеличение длины соломины влияет на урожайность, однако сопряжено со снижением устойчивости к полеганию. При этом низкая устойчивость к полеганию отмечена в годы с разной длиной соломины (см. табл. 3), что указывает на наличие не учитываемых в данном опыте факторов, влияющих на устойчивость к полеганию.

Сорта достоверно различались по устойчивости к полеганию, длине соломины, толщине стенки второго нижнего междоузлия (табл. 5).

Сорт 'Московская 12' (4,3 балла) отличался высокой оценкой устойчивости к полеганию относительно среднего по опыту. К сортам, устойчивым к полеганию, отне-

в основном отличались нестабильностью показателя ($CV = 22–35\%$), кроме сорта 'Алиса' ($CV = 9\%$). Среди устойчивых сорт 'Роксана' отличался сильной межгодовой изменчивостью признака ($CV = 23\%$).

Большинство сортов относились к группе полукороткостебельных (длина соломины – 110–130 см). К группе короткостебельных (90–110 см) отнесены сорта 'Татьяна', 'Саратовская 7', 'Московская 12' с достоверно низким значением длины соломины. Полукороткостебельные сорта 'Антарес' и 'Безенчукская 87' были также слабоустойчивыми к полеганию, как и длинностебельный сорт 'Вятка 2', при достоверных различиях по длине соломины. Таким образом, короткая соломина не является единственным условием устойчивости ржи к полеганию.

Необходимо оценивать морфологические признаки второго нижнего междоузлия. По длине, массе отрезка, диаметру второго нижнего междоузлия сортовые различия находились в пределах ошибки опыта (как между средними групп, так и в целом по выборке). Устойчивые сорта имели достоверно меньшую массу второго нижнего междоузлия (в среднем на 11%) по сравнению со слабоустойчивыми сортами ($t_{\text{факт}} = 2,30 > t_{05} = 2,15$ при 14 степенях свободы). Также сорта достоверно различались по толщине стенки нижнего междоузлия (в целом по выборке).

Выделены устойчивые к полеганию сорта 'Янтарная' и 'Былина', у которых показатель толщины стенки нижнего междоузлия достоверно выше среднего по опыту (на 49 и 36% соответственно), что косвенно указывает на хорошее развитие механической ткани соломины дан-

Таблица 5. Характеристика сортов озимой ржи по морфологическим признакам соломины и устойчивости к полеганию (ФАНЦ Северо-Востока, г. Киров, 2017–2020 гг.)
Table 5. Description of winter rye cultivars according to morphological characters of the stem and lodging resistance (FARC North-East, Kirov, 2017–2020)

Сорт / Cultivar	Устойчивость к полеганию / Lodging resistance		Длина соломины, см / Stem length, cm	Значения признаков второго нижнего междоузлия / Character values in the second lower internode:				
	Балл / Score	CV, %		длина, см / length, cm	масса, г / weight, g		толщина стенки, мм / wall thickness, mm	диаметр, мм / diameter, mm
					целого / whole	отрезка 1 см / 1 cm segment		
Устойчивые к полеганию / Resistance to lodging								
Московская 12 / Moskovskaya 12	4,3 ± 0,1*	12	106 ± 13,8*	8,8 ± 1,4	0,17 ± 0,03	0,019 ± 0,003	0,38 ± 0,03	3,24 ± 0,22
Татьяна / Татьяна	4,1 ± 0,2	15	103 ± 11,4*	6,7 ± 1,1	0,15 ± 0,02	0,026 ± 0,003	0,43 ± 0,13	3,31 ± 0,12
Фаленская 4 / Falenskaya 4	3,9 ± 0,2	16	113 ± 9,6	6,2 ± 0,5	0,13 ± 0,02	0,023 ± 0,004	0,32 ± 0,03	3,31 ± 0,29
Янгарная / Yantarnaya	3,9 ± 0,2	16	115 ± 10,9	6,2 ± 0,8	0,17 ± 0,03	0,029 ± 0,003	0,58 ± 0,16*	3,63 ± 0,17
Былина / Bylina	3,8 ± 0,1	8	122 ± 10,3	7,6 ± 1,0	0,18 ± 0,03	0,025 ± 0,003	0,53 ± 0,17*	3,64 ± 0,3
Паром / Parom	3,6 ± 0,1	13	125 ± 10,3	7,7 ± 1,1	0,20 ± 0,03	0,026 ± 0,003	0,40 ± 0,05	3,67 ± 0,25
Роксана / Roksana	3,6 ± 0,2	23	114 ± 12,7	7,7 ± 1,2	0,16 ± 0,02	0,022 ± 0,001	0,39 ± 0,11	3,41 ± 0,22
Среднее по группе / Mean for the group	3,9 ± 0,1	-	114 ± 2,6	7,3 ± 0,3	0,17 ± 0,01	0,024 ± 0,001	0,43 ± 0,03	3,46 ± 0,06
Слабоустойчивые к полеганию / Low resistance to lodging								
Саратовская 7 / Saratovskaya 7	3,5 ± 0,3	35	104 ± 17,2*	7,7 ± 1,0	0,18 ± 0,02	0,021 ± 0,001	0,38 ± 0,05	3,43 ± 0,33
Таловская 33 / Talovskaya 33	3,4 ± 0,2	22	112 ± 12,6	8,2 ± 1,4	0,18 ± 0,04	0,024 ± 0,000	0,39 ± 0,02	3,52 ± 0,25
Памяти Кунакбаева / Pamyati Kunakbayeva	3,3 ± 0,2	27	121 ± 13,4	7,5 ± 1,0	0,17 ± 0,02	0,022 ± 0,003	0,31 ± 0,07	2,90 ± 0,24
Алиса / Alisa	3,3 ± 0,1	9	123 ± 11,7	6,6 ± 0,7	0,17 ± 0,03	0,027 ± 0,003	0,38 ± 0,05	3,53 ± 0,26
Чулпан 7 / Чулпан 7	3,2 ± 0,2	27	118 ± 12,5	8,6 ± 1,4	0,19 ± 0,02	0,021 ± 0,001	0,34 ± 0,07	3,39 ± 0,19
Памяти Бамбышева / Pamyati Bamyshева	3,2 ± 0,2	25	118 ± 13,2	7,4 ± 0,9	0,21 ± 0,04	0,028 ± 0,004	0,41 ± 0,05	3,41 ± 0,22
Вятка 2 / Vyatka 2	2,9 ± 0,2	22	152 ± 9,3*	7,7 ± 1,7	0,22 ± 0,03	0,027 ± 0,004	0,34 ± 0,07	3,34 ± 0,26

Таблица 5. Окончание
Table 5. The end

Сорт / Cultivar	Устойчивость к полеганию / Lodging resistance		Длина соломки, см / Stem length, cm	длина, см / length, cm	Значения признаков второго нижнего междоузлия / Character values in the second lower internode:			
	Балл / Score	CV, %			масса, г / weight, g		толщина стенки, мм / wall thickness, mm	диаметр, мм / diameter, mm
					целого / whole	отрезка 1 см / 1 cm segment		
Слабоустойчивые к полеганию / Low resistance to lodging								
Безенчукская 87 / Bezenchukskaya 87	2,9 ± 0,2	26	120 ± 14,6	8,1 ± 0,8	0,19 ± 0,03	0,027 ± 0,006	0,36 ± 0,04	3,31 ± 0,35
Антарес / Antares	2,8 ± 0,2	23	115 ± 13,9	9,8 ± 2,1	0,20 ± 0,04	0,018 ± 0,001	0,35 ± 0,06	3,13 ± 0,25
Среднее по группе / Mean for the group	3,2 ± 0,1	-	120 ± 4,4	8,0 ± 0,3	0,19 ± 0,01	0,024 ± 0,001	0,36 ± 0,01	3,33 ± 0,07
Среднее по опыту / Mean for the experiment	3,5 ± 0,2	20	118 ± 12,0	7,6 ± 1,0	0,18 ± 0,02	0,024 ± 0,002	0,39 ± 0,07	3,39 ± 0,21
НСР₀₅ / LSD₀₅	0,8	-	9,9	NS	NS	NS	0,14	NS

Примечание: * – различия относительно среднего по опыту достоверны при $p < 0,05$; NS – нет достоверных различийNote: * – differences relative to the mean for the experiment are statistically significant at $p < 0,05$; NS – no significant differences

ных сортов. В некоторых работах (Tetryatchenko, 1984; Griguletskiy, 2019) выявлена положительная корреляция между толщиной стенки соломины и устойчивостью к полеганию. В нашем исследовании корреляция между устойчивостью к полеганию и толщиной стенки соломины второго нижнего междоузлия недостоверна.

С помощью корреляционного анализа средних данных за период изучения установлена значимая корреляция устойчивости к полеганию с длиной соломины ($r = -0,55$), а также с массой второго нижнего междоузлия ($r = -0,65$) (таблица 6). Статистически не доказана корреляция устойчивости к полеганию с толщиной стенки второго нижнего междоузлия ($r = 0,45$), его длиной ($r = -0,42$) и диаметром ($r = 0,24$), а также с массой отрезка второго нижнего междоузлия ($r = -0,04$). Длина второго нижнего междоузлия значимо связана с его массой ($r = 0,53$) и массой его отрезка ($r = -0,67$), но практически не связана с длиной соломины ($r = -0,01$). Масса отрезка второго нижнего междоузлия существенно связана с его диаметром ($r = 0,52$). Диаметр второго нижнего междоузлия существенно связан с толщиной его стенок ($r = 0,66$).

Изменчивость устойчивости к полеганию зависела от изменчивости массы второго нижнего междоузлия на 41% и длины соломины на 35% (рисунок).

С помощью регрессионного анализа установлено, что с уменьшением массы второго нижнего междоузлия на

0,1 г устойчивость к полеганию повышалась в среднем на 1,3 балла ($R^2 = 0,411$). Уменьшение длины соломины на 10 см приводило к увеличению устойчивости к полеганию в среднем на 0,24 балла ($R^2 = 0,347$).

Для выяснения причинно-следственных отношений в структуре корреляций (см. табл. 6) проведен анализ прямых и косвенных эффектов влияния признаков соломины на устойчивость к полеганию в данном наборе сортов (табл. 7). Масса отрезка второго нижнего междоузлия произвела наибольший прямой отрицательный эффект на устойчивость к полеганию ($P = -0,467$).

Второй по величине прямой эффект оказала длина второго нижнего междоузлия ($P = -0,408$). Признаки массы отрезка и длины второго нижнего междоузлия оказывали большие косвенные эффекты на устойчивость к полеганию посредством друг друга ($P = 0,313$ и $P = 0,273$ соответственно). Основной положительный прямой эффект выявлен от признака толщины стенки второго нижнего междоузлия ($P = 0,424$).

В наших исследованиях не установлено прямого положительного влияния признака массы отрезка второго нижнего междоузлия на устойчивость к полеганию (по усредненным данным), в отличие от исследований А. А. Тороп с соавторами (Torop et al., 2008, 2011). Однако в отдельные годы нами отмечено изменение величины прямого эффекта массы отрезка и других признаков второго нижнего междоузлия (табл. 8).

Таблица 6. Матрица коэффициентов корреляции между устойчивостью к полеганию и признаками соломины (ФАНЦ Северо-Востока, г. Киров, 2017–2020 гг.)

Table 6. Matrix of correlation coefficients between lodging resistance and stem characters (FARC North-East, Kirov, 2017–2020)

Признаки / Characters	Устойчивость к полеганию / Lodging resistance	Длина соломины / Stem length	Масса целого междоузлия / Weight of the whole internode	Масса отрезка междоузлия / Weight of the internode segment	Длина междоузлия / Internode length	Толщина стенки междоузлия / Internode wall thickness	Диаметр междоузлия / Internode diameter
Устойчивость к полеганию / Lodging resistance	1,00						
Длина соломины / Stem length	-0,55*	1,00					
Масса целого междоузлия / Weight of the whole internode	-0,65*	0,57*	1,00				
Масса отрезка междоузлия / Weight of the internode segment	-0,04	0,40	0,17	1,00			
Длина междоузлия / Internode length	-0,42	-0,01	0,53*	-0,67*	1,00		
Толщина стенки междоузлия / Internode wall thickness	0,45	-0,15	-0,03	0,48	-0,35	1,00	
Диаметр междоузлия / Internode diameter	0,24	0,07	0,13	0,52*	-0,33	0,66*	1,00

Примечание: * – значимо на 5-процентном уровне; число наблюдений: 16

Note: *- statistically significant at the 5% level; number of observations: 16

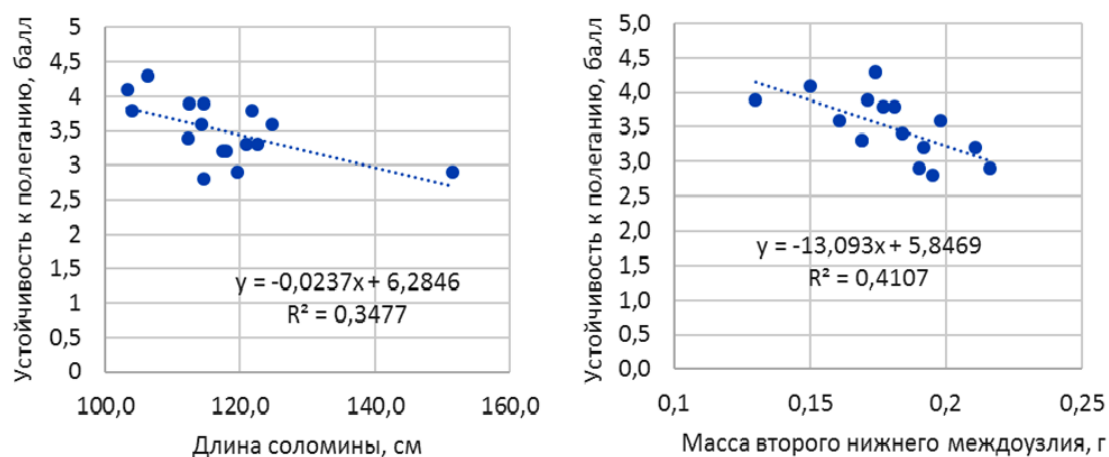


Рисунок. Зависимость устойчивости к полеганию сортов озимой ржи от признаков соломины (ФАНЦ Северо-Востока, г. Киров, 2017–2020 гг.)

Figure. Dependence of lodging resistance in winter rye cultivars on stem characters (FARC North-East, Kirov, 2017–2020)

Таблица 7. Результаты путевого анализа устойчивости к полеганию (ФАНЦ Северо-Востока, г. Киров, 2017–2020 гг.)

Table 7. Results of the path-analysis of lodging resistance (FARC North-East, Kirov, 2017–2020)

Признаки / Character	Длина соломины / Stem length	Масса второго нижнего междоузлия / Weight of the second lower internode	Масса отрезка междоузлия / Weight of the internode segment	Длина междоузлия / Internode length	Толщина стенки междоузлия / Internode wall thickness	Диаметр междоузлия / Internode diameter	r
Длина соломины / Stem length	-0,161	-0,151	-0,187	0,004	-0,064	0,008	-0,55*
Масса второго нижнего междоузлия / Weight of the second lower internode	-0,092	-0,265	-0,079	-0,216	-0,013	0,015	-0,65*
Масса отрезка междоузлия / Weight of the internode segment	-0,064	-0,045	-0,467	0,273	0,204	0,059	-0,04
Длина междоузлия / Internode length	0,002	-0,140	0,313	-0,408	-0,148	-0,038	-0,42
Толщина стенки междоузлия / Internode wall thickness	0,024	0,008	-0,224	0,143	0,424	0,075	0,45
Диаметр междоузлия / Internode diameter	-0,011	-0,034	-0,243	0,135	0,280	0,114	0,24

Примечание: r – коэффициент корреляции устойчивости к полеганию с морфологическими признаками; * – значимо на 5-процентном уровне; $P_0 = 0,576$ – остаточное влияние неучтенных факторов. Выделены прямые эффекты (P) признаков

Note: r – correlation ratio of lodging resistance to morphological characters; * – significant at the 5% level; $P_0 = 0.576$ – residual effect size of unaccounted factors. Direct effects (P) of characters are highlighted

Таблица 8. Прямые эффекты влияния признаков соломины на устойчивость к полеганию
(ФАНЦ Северо-Востока, г. Киров, 2017–2020 гг.)**Table 8. Direct effects of stem characters on lodging resistance** (FARC North-East, Kirov, 2017–2020)

Признаки / Characters	2017		2018		2019		2020	
Длина соломины / Stem length	-0,167	-0,51*	-0,446	-0,29	0,684	0,32	-1,322	-0,80*
Масса второго нижнего междоузлия / Weight of the second lower internode	0,353	-0,24	-0,655	-0,54*	-2,752	0,35	0,978	-0,37
Масса отрезка междоузлия / Weight of the internode segment	-0,181	-0,05	-	-	0,735	0,14	-0,007	0,37
Длина междоузлия / Internode length	-0,440	-0,09	0,224	-0,36	0,973	0,32	-0,971	-0,20
Толщина стенки междоузлия / Internode wall thickness	-	-	-0,419	0,09	-0,743	0,01	-0,522	-0,12
Диаметр междоузлия / Internode diameter	-0,265	0,11	0,369	-0,19	2,119	0,53*	0,216	0,05
Остаточное влияние неучтенных факторов P_0 / Residual effect size of unaccounted factors P_0	0,742	-	0,779	-	0,498	-	0,139	-

Примечание: первый столбец – прямой эффект (P) признака, второй – коэффициент корреляции устойчивости к полеганию с морфологическими признаками; * – значимо на 5-процентном уровне

Note: the first column is the direct effect (P) of the character, the second is the correlation ratio of lodging resistance to morphological traits; * – significant at the 5% level

Влияние признаков второго нижнего междоузлия на устойчивость к полеганию было ограничено в 2017, 2018, 2019 г. ($P_0 = 0,742$; $0,779$; $0,498$ соответственно) и увеличено в 2020 г. ($P_0 = 0,139$). В годы с большей длиной соломины (2017 и 2020 г.) снижение устойчивости к полеганию происходило от увеличения длины соломины и длины второго нижнего междоузлия соответственно; повышение устойчивости – за счет массы второго нижнего междоузлия. При меньшей длине соломины (2018 и 2019 г.) устойчивость к полеганию снижалась в основном от увеличения массы второго нижнего междоузлия, а повышалась за счет увеличения диаметра междоузлия. По усредненным данным, основной причиной снижения устойчивости к полеганию в изучаемом наборе сортов была высокая масса отрезка второго нижнего междоузлия. Основной причиной повышения устойчивости к полеганию было увеличение толщины стенок второго нижнего междоузлия. Косвенный эффект на повышение устойчивости к полеганию оказало снижение длины второго нижнего междоузлия при одновременном увеличении массы отрезка, и наоборот.

Таким образом, путевой анализ выявил сложную структуру корреляций между устойчивостью к полеганию и морфологическими признаками второго нижнего междоузлия. В разных условиях вегетации формирование устойчивости растений к полеганию обусловлено различными признаками. Кроме рассмотренных признаков второго нижнего междоузлия, на устойчивость сортов к полеганию могли повлиять различия в мощности корневой системы растений, плотности стеблестоя вследствие различной перезимовки сортов, особенности морфотипа и анатомического строения растений. В связи с этим нет оснований принимать массу отрезка в качестве критерия для отбора и косвенной оценки устойчивости к полеганию в данном наборе сортов.

Кроме устойчивости к полеганию, масса отрезка второго нижнего междоузлия, по данным А. А. Тороп с соавторами (Тороп et al., 2008, 2011), связана с продуктивностью колоса и может быть использована как критерий для отбора высокопродуктивных растений. Нами не обнаружено достоверной связи между продуктивностью колоса и массой отрезка междоузлия (табл. 9), что, вероятно, связано с недостаточным объемом выборки.

Таблица 9. Коэффициенты корреляции продуктивности колоса (ФАНЦ Северо-Востока, г. Киров, 2017–2020 гг.)**Table 9. Ear productivity correlation coefficients** (FARC North-East, Kirov, 2017–2020)

Урожайность / Yield	Длина соломины / Stem length	Показатели второго снизу междоузлия / Indicators of the second lower internode:				
		масса / weight	длина / length	толщина стенки / wall thickness	диаметр / diameter	масса отрезка 1 см / weight of a 1 cm segment
0,44	-0,37	-0,39	-0,52*	0,52*	0,37	0,33

Примечание: * – значимо на 5-процентном уровне; число наблюдений: 16

Note: * – statistically significant at the 5% level; number of observations: 16

Продуктивность колоса была достоверно связана только толщиной стенки второго нижнего междоузлия и длиной второго нижнего междоузлия. Увеличение толщины стенки второго нижнего междоузлия на 0,1 мм приводило к повышению продуктивности колоса в среднем на 0,13 г ($y = 1,324x + 1,195$; $R^2 = 0,27$). Продуктивность колоса недостоверно связана с урожайностью.

Положительное влияние толщины стенки второго нижнего междоузлия на продуктивность колоса, возможно, связано со способностью стебля ржи запасать ассимиляты (Kobylyansky, Solodukhina, 2015; Torop et al., 2020).

Таким образом, устойчивость к полеганию в различной степени связана с морфологическими признаками соломины и второго нижнего междоузлия. Оценка сортов по морфологическим признакам соломины дополняет полевою визуальной оценкой устойчивости к полеганию. Однако полевая оценка устойчивости к полеганию представляется более надежной, особенно в меняющихся агрометеорологических условиях. За период исследований выделены сорта 'Московская 12', 'Татьяна', 'Былина', 'Янтарная', отличающиеся стабильной устойчивостью к полеганию (3,8–4,3 балла, CV = 8–16%). Сорта предлагаются в качестве исходного материала для селекции ржи на устойчивость к полеганию в условиях Кировской области.

Заключение

Сорта озимой ржи отечественной селекции в различных климатических условиях вегетации 2017–2020 гг. достоверно различались по полевой оценке устойчивости к полеганию. Сортные различия по большинству признаков второго нижнего междоузлия стебля (длина, масса целого и отрезка, диаметр) были незначимы. Установлено, что снижение устойчивости к полеганию сортов ржи происходило в основном за счет увеличения массы отрезка второго нижнего междоузлия, косвенно характеризующей степень развития механических и проводящих тканей. Повышение устойчивости к полеганию, а также продуктивности колоса было связано главным образом с увеличением толщины стенки второго нижнего междоузлия.

Подбор исходного материала на устойчивость к полеганию в данном наборе сортов предлагается проводить по полевой оценке устойчивости к полеганию, а также по толщине стенки второго нижнего междоузлия соломины; при этом учитывается и длина соломины. В результате изучения в 2017–2020 гг. выделены сорта озимой ржи 'Московская 12', 'Татьяна', 'Былина', 'Янтарная', предлагаемые в качестве источников устойчивости к полеганию для селекции в условиях Кировской области.

References / Литература

- Chaikin V.V., Pshenichnaya I.A., Torop A.A. Lodging of winter rye and baking qualities of its grain. *Zemledelie = Agriculture*. 2013;(5):27-28. [in Russian] (Чайкин В.В., Пшеничная И.А., Тороп А.А. Полегание озимой ржи и хлебопекарные качества. *Земледелие*. 2013;(5):27-28).
- Chaikin V.V., Torop A.A., Torop E.A. Change of plant architectonics as a direction in breeding of winter rye. *Legumes and Groat Crops*. 2021;3(39):23-33. [in Russian] (Чайкин В.В., Тороп А.А., Е.А. Тороп. Изменение архитектоники растения как направление в селекции озимой ржи. *Зернобобовые и крупяные культуры*. 2021;3(39):23-33. DOI: 10.24412/2309-348X-2021-3-23-33)
- Fedin M.A. (ed.) Methodology for the state variety trials of agricultural crops. Issue 1. General part. (Metodika gosudarstvennogo sortoispytaniya selskokhozyaystvennykh kultur. Vypusk 1. Obshchaya chast). Moscow; 1985. [in Russian] (Методика государственного сортоиспытания сельскохозяйственных культур / под ред. М.А. Федина. Москва; 1985).
- Goncharenko A.A., Ermakov S.A., Semenova T.V., Filippov S.N. Ways to enhance winter rye breeding for resistance to lodging (Puti povysheniya selektsii ozimoy rzhi na ustoychivost k poleganiyu) In: *Rye Breeding: Proceedings of the EUCARPIA Symposium*. Leningrad; 1990. p.65-71. [in Russian] (Гончаренко А.А., Ермаков С.А., Семенова Т.В., Филиппов С.Н. Пути повышения селекции озимой ржи на устойчивость к полеганию. В кн.: *Селекция ржи: материалы Симпозиума ЕУКАРПИА*. Ленинград; 1990. С.65-71).
- Griguletskiy V.G. To the question of stability of rectilinear forms of balance cutters of grain crops against flashback. Part 1. *Moscow Economic Journal*. 2019;(9):532-557. [in Russian] (Григулецкий В.Г. К вопросу устойчивости прямолинейной формы равновесия стеблей зерновых культур против полегания. Часть 1. *Московский экономический журнал*. 2019;(9):532-557). DOI: 10.24411/2413-046X-2019-19015
- International COMECON List of Descriptors for the Genus *Secale* L. Leningrad: VIR; 1984. [in Russian; in English] (Международный классификатор рода *Secale* L. Ленинград: ВИР; 1984).
- Ivanov A.P. Rye (Rozh) Leningrad; Moscow: Selkhozizdat; 1961. [in Russian] (Иванов А.П. Рожь. Ленинград; Москва: Сельхозиздат; 1961).
- Kedrova L.I., Utkina E.I., Shlyakhtina E.A., Sheshhegova T.K., Parfenova E.S., Shamova M.G. et al. Biological bases of manufacture of grain of winter rye in European North-East of Russian Federation. *Achievements of Science and Technology of AIC*. 2012;(6):21-23. [in Russian] (Кедрова Л.И., Уткина Е.И., Шляхтина Е.А., Шешегова Т.К., Парфенова Е.С., Шамова М.Г. и др. Биологические основы производства зерна озимой ржи на Евро-Северо-Востоке РФ. *Достижения науки и техники АПК*. 2012;(6):21-23).
- Kobylyansky V.D., Korzun A.E., Katerova A.G., Lapikov N.S., Solodukhina O.V. Flora of cultivated plants. Vol. 2 (Pt 1). Rye. V.D. Kobylyansky (ed.). Leningrad; 1989. [in Russian] (Кобылянский В.Д., Корзун А.Е., Катерова А.Г., Лапиков Н.С., Солодухина О.В. Культурная флора СССР. Т. 2, ч. 1. Рожь / под ред. В.Д. Кобылянского. Ленинград; 1989).
- Kobylyansky 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. *Proceedings on Applied Botany, Genetics and Breeding*. 2015;176(1):5-19. [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
- Lukyanova I.V. Analysis of specific and varietal features of the resistance of cereal crop stems to lodging, taking into account their physical and mechanical properties and architectonics for use in breeding (Analiz vidovykh i sortovykh osobennostey ustoychivosti steblye zlakovykh kul-

- тур k poleganiyu s uchetoм ikh fiziko-mekhanicheskikh svoystv i arkhitektoniki dlya ispolzovaniya v selektsii) [dissertation]. Krasnodar: Kuban State Agrarian University; 2008. [in Russian] (Лукьянова И.В. Анализ видовых и сортовых особенностей устойчивости стеблей злаковых культур к полеганию с учетом их физико-механических свойств и архитектоники для использования в селекции: дис. ... докт. биол. наук. Краснодар: Кубанский ГАУ; 2008).
- Muszynska A., Guendel A., Melzer M., Moya Y.A.T., Röder M.S., Rolletschek H. et al. A mechanistic view on lodging resistance in rye and wheat: a multiscale comparative study. *Plant Biotechnology Journal*. 2021;19(12):2646–2661. DOI: 10.1111/pbi.13689
- Ponomareva M.L., Ponomarev S.N. Morphometric parameters of stem as criteria for estimation of resistance of winter rye to lodging in the conditions of Middle Povolzh'e. *Agricultural Biology*. 2004;39(3):90-94. [in Russian] (Пономарева М.Л., Пономарев С.Н. Морфометрические параметры стебля как критерии оценки устойчивости растений озимой ржи к полеганию в условиях Среднего Поволжья. *Сельскохозяйственная биология*. 2004;39(3):90-94).
- Rovdo T.V., Artsiukh D.Yu. Results of studying collection accessions of winter rye in terms of the main economically important traits. *Zemledeliye i selektsiya v Belarusi = Farming and Breeding in Belarus*. 2021;(57):251-258. [in Russian] (Ровдо Т.В., Артюх Д.Ю. Результаты изучения коллекционных образцов озимой ржи по основным хозяйственно-ценным признакам. *Земледелие и селекция в Беларуси*. 2021;(57):251-258).
- Teteryatchenko G.K. Anatomical method for assessing source material of winter bread wheat for productivity, frost resistance and resistance to lodging (Anatomicheskiy metod otsenki iskhodnogo materiala myagkoy ozimoy pshenitsy na produktivnost, morozostoykost i ustoychivost k poleganiyu). *Scientific and Technical Bulletin of the N.I. Vavilov All-Russian Research Institute of Plant Industry*. 1984;146:28-32. [in Russian] (Тетерятченко Г.К. Анатомический метод оценки исходного материала мягкой озимой пшеницы на продуктивность, морозостойкость и устойчивость к полеганию. *Научно-технический бюллетень Всероссийского научно-исследовательского института растениеводства им. Н.И. Вавилова*. 1984;146:28-32).
- Tikhvinsky S.F., Butorina L.K. Fight against lodging of agricultural crops (Borba s poleganiyem selskokhozyaystvennykh kultur) Leningrad: Kolos; 1983. [in Russian] (Тихвинский С.Ф., Буторина Л.К. Борьба с полеганием сельскохозяйственных культур. Ленинград: Колос; 1983).
- Torop A.A., Chajkin V.V., Torop E.A., Kuzmenko S.A. Practical use of methods that provide both high yield and adaptability to environmental conditions in winter rye breeding. *Achievements of Science and Technology of AIC*. 2020;34(3):32-35. [in Russian] (Тороп А.А., Чайкин В.В., Тороп Е.А., Кузьменко С.А. Практическое использование в селекции озимой ржи способов, позволяющих сочетать в сорте высокую урожайность и адаптивность к условиям среды. *Достижения науки и техники АПК*. 2020;34(3):32-35). DOI: 10.24411/0235-2451-2020-10306
- Torop E.A., Chajkin V.V., Torop A.A. Method of estimation of winter rye selection material for lodging resistance. *Agricultural Science Euro-North-East*. 2011;3(22):14-16. [in Russian] (Тороп Е.А., Чайкин В.В., Тороп А.А. Способ оценки селекционного материала озимой ржи на устойчивость к полеганию. *Аграрная наука Евро-Северо-Востока*. 2011;3(22):14-16).
- Torop E.A., Chaikin V.V., Torop A.A. Method of selection of lodging-resistant cereals (Sposob otbora ustoychivyykh k poleganiyu form zernovykh kolosovykh zlakov). Russian Federation; patent number: 2382549C2; 2008. [in Russian] (Тороп Е.А., Чайкин В.В., Тороп А.А. Способ отбора устойчивых к полеганию форм зерновых колосовых злаков. Российская Федерация; патент № 2382549C2; 2008). URL: https://yandex.ru/patents/doc/RU2382549C2_20100227 [дата обращения: 07.03.2022].
- Wójtowicz T., Grabowska-Joachimiak A., Zieliński A. Analysis of morpho-anatomical stem properties determining its mechanical strength in selected rye cultivars. *International Agrophysics*. 2020;1(34):123-131. DOI: 10.31545/intagr/115096
- Wright S. Correlation and causation. *Journal of Agricultural Research*. 1921;20:557-585.
- Zakharov V.G., Syukov V.V., Yakovleva O.D. Correlation of morphoanatomical traits with lodging resistance in spring wheat in the Middle Volga region. *Vavilov Journal of Genetics and Breeding*. 2014;18(3):506-510. [in Russian] (Захаров В.Г., Сюков В.В., Яковлева О.Д. Сопряженность анатомо-морфологических признаков с устойчивостью к полеганию яровой мягкой пшеницы в условиях Среднего Поволжья. *Вавиловский журнал генетики и селекции*. 2014;18(3):506-510).
- Zaytseva I.Yu., Shchennikova I.N. Association of morphological traits with lodging resistance in spring barley under the conditions of the Volga-Vyatka region. *Proceedings on Applied Botany, Genetics and Breeding*. 2020;181(3):32-40. [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
- Zuo Y., Zhang X., Zuo S., Ren X., Liu Z., Dong L. et al. Changes of stem characteristics, senescence indexes and yield and quality of wintering rye under different populations. *Sustainability*. 2021;13(12):6876. DOI: 10.3390/su13126876

Информация об авторах

Наталья Александровна Набатова, младший научный сотрудник, Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока им. Н.В. Рудницкого, 610007 Россия, Киров, ул. Ленина, 166а, nabatova43@rambler.ru, <https://orcid.org/0000-0002-3845-0168>

Елена Сергеевна Парфенова, кандидат сельскохозяйственных наук, старший научный сотрудник, Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока им. Н.В. Рудницкого, 610007 Россия, Киров, ул. Ленина, 166а, elka1745@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0001-8919-4056>

Елена Игоревна Уткина, доктор сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник, Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока им. Н.В. Рудницкого, 610007 Россия, Киров, ул. Ленина, 166а, utkina.e.i@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-5650-6906>

Марина Геннадьевна Шамова, кандидат сельскохозяйственных наук, научный сотрудник, Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока им. Н.В. Рудницкого, 610007 Россия, Киров, ул. Ленина, 166а, ChamowaMarina@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0003-4991-1510>

Екатерина Александровна Псарева, лаборант, Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока им. Н.В. Рудницкого, 610007 Россия, Киров, ул. Ленина, 166а, katya-lih@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-9020-4765>

Мария Николаевна Жукова, младший научный сотрудник, Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока им. Н.В. Рудницкого, 610007 Россия, Киров, ул. Ленина, 166а, zhukovamasha15@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-9015-0613>

Information about the authors

Nataliya A. Nabatova, Associate Researcher, Federal Agricultural Research Center of the North-East named N.V. Rudnitsky, 166a Lenina St., Kirov 610007, Russia, nabatova43@rambler.ru, <https://orcid.org/0000-0002-3845-0168>

Elena S. Parfenova, Cand. Sci. (Agriculture), Senior Researcher, Federal Agricultural Research Center of the North-East named N.V. Rudnitsky, 166a Lenina St., Kirov 610007, Russia, elka1745@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0001-8919-4056>

Elena I. Utkina, Dr. Sci. (Agriculture), Leading Researcher, Federal Agricultural Research Center of the North-East named N.V. Rudnitsky, 166a Lenina St., Kirov 610007, Russia, utkina.e.i@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-5650-6906>

Marina G. Shamova, Cand. Sci. (Agriculture), Researcher, Federal Agricultural Research Center of the North-East named N.V. Rudnitsky, 166a Lenina St., Kirov 610007, Russia, ChamowaMarina@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0003-4991-1510>

Ekaterina A. Psareva, Laboratory Assistant, Federal Agricultural Research Center of the North-East named N.V. Rudnitsky, 166a Lenina St., Kirov 610007, Russia, katya-lih@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-9020-4765>

Mariya N. Zhukova, Associate Researcher, Federal Agricultural Research Center of the North-East named N.V. Rudnitsky, 166a Lenina St., Kirov 610007, Russia, zhukovamasha15@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-9015-0613>

Вклад авторов: все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.

Contribution of the authors: the authors contributed equally to this article.

Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interests: the authors declare no conflicts of interests.

Статья поступила в редакцию 11.03.2022; одобрена после рецензирования 31.05.2022; принята к публикации 01.12.2022. The article was submitted on 11.03.2022; approved after reviewing on 31.05.2022; accepted for publication on 01.12.2022.