

АДАПТИВНЫЙ ПОТЕНЦИАЛ СОРТОВ ОЗИМОЙ РЖИ СЕЛЕКЦИИ ВИР ПО ПОКАЗАТЕЛЮ «СОДЕРЖАНИЕ БЕЛКА В ЗЕРНЕ» В УСЛОВИЯХ ЛЕНИНГРАДСКОЙ ОБЛАСТИ

DOI: 10.30901/2227-8834-2019-1-44-51

УДК 631.527.14

Поступление/Received: 27.12.2018

Принято/Accepted: 06.03.2019

Н. И. АНИСЬКОВ, И. В. САФОНОВА, В. И. ХОРЕВА.

Федеральный исследовательский центр
Всероссийский институт генетических ресурсов
растений имени Н. И. Вавилова (ВИР),
190000 Россия, г. Санкт-Петербург, ул. Б. Морская, 42, 44;
✉ i.safonova@vir.nw.ru

ADAPTIVE POTENTIAL OF WINTER RYE CULTIVARS
DEVELOPED AT VIR IN THE CONTEXT OF THEIR GRAIN
PROTEIN CONTENT IN THE ENVIRONMENTS
OF LENINGRAD PROVINCE

N. I. ANISKOV, I. V. SAFONOVA, V. I. HOREVA.

N. I. Vavilov All-Russian Institute
of Plant Genetic Resources (VIR),
42–44 Bolshaya Morskaya St.,
St. Petersburg 190000 Russia;
✉ i.safonova@vir.nw.ru

Актуальность. В Ленинградской области озимая рожь – незаменимый злак для питания людей и кормления животных. В настоящее время наблюдается уменьшение площадей посева ржи. Изменить это положение возможно за счет выведения сортов ржи, обеспечивающих стабильно высокое содержание белка в широком диапазоне варьирования природных условий. **Объектом** исследований служили 9 сортов озимой ржи селекции Всероссийского института генетических ресурсов растений (ВИР), созданных сотрудниками ВИР В. Д. Кобылянским (отдел генетических ресурсов овса, ржи и ячменя) и О. В. Солодухиной (отдел генетики) при реализации конкурсного проекта РАСХН «Разработать теоретические основы селекции сортов озимой ржи, пригодных для использования в комбикормовой, хлебопекарной и перерабатывающей промышленности (2004–2011 гг.)». **Материалы и методы.** Экспериментальная часть работы проводилась в течение 2012–2017 гг. на опытных полях НПБ «Пушкинские и Павловские лаборатории ВИР». Было изучено 9 сортов низкопентозановой озимой ржи селекции ВИР. Сроки посева – в период с 28 августа по 11 сентября. Агротехника проведения опыта общепринятая для Северо-Западного региона. Площадь делянки – 10 м², повторность трехкратная. Норма высева – 350 зерен/м² или 3,5 млн всхожих зерен на гектар. Математическая обработка проведена дисперсионным анализом, рассчитаны параметры адаптивности, стабильности, пластичности и стрессоустойчивости сортов по признаку «содержание белка в зерне». **Результаты.** Среднее содержание белка в зерне исследуемых сортов озимой ржи в условиях Северо-Западного региона составило 10,3% и варьировало от 8,7 до 12,2% в зависимости от условий среды и наследственных особенностей сортов. Это подтверждается результатами дисперсионного анализа: доля влияния на содержание белка фактора «год испытания» составила 71,9%. Лучшие условия для формирования повышенного содержания белка наблюдались в 2012, 2013 и 2016 г. (10,7, 11,9 и 12,2% соответственно). Анализ среднего содержания белка в зерне показал, что сорта 'Ильмень', 'Вавиловская', 'Красноярская универсальная', Новая Эра, 'Янтарная' превысили стандартный сорт 'Эра' на 1,0–10,0%. Наиболее адаптивными по содержанию белка в зерне в условиях Северо-Западного региона являются сорта озимой ржи 'Ильмень', 'Эра', 'Янтарная', Новая Эра, Рушник 2. Сумма рангов вышеуказанных сортов по коэффициенту вариации (V), коэффициенту экологической пластичности (O), относительной стабильности признака (St²), коэффициенту гомеостатичности (Hom), а также по коэффициенту адаптивности (KA), показателю устойчивости к стрессу (Y min – Y max) и компенсаторной способности сорта (Y min + Y max/2) составила 13–31 единицу. **Заключение.** Сорта ржи 'Ильмень', 'Эра', 'Янтарная', Новая Эра, Рушник 2 обладают высокой адаптивностью и могут обеспечивать высокое содержание белка в зерне в широком диапазоне варьирования природных условий Северо-Западного региона РФ.

Ключевые слова: озимая рожь, сорт, адаптивность, гомеостатичность, генотип, среда, условия, потенциал, экологическая пластичность, стабильность, изменчивость, содержание белка в зерне, ранг, стрессоустойчивость

Background. In Leningrad Province, winter rye is an irreplaceable cereal crop for food and feed. At present, a reduction of the acreage under rye is observed. This situation may be changed by developing rye cultivars capable of maintaining high and stable protein content across variable natural environments. The **objective** of the research encompassed 9 winter rye cultivars developed by V. D. Kobylansky and O. V. Solodukhina at VIR, all recommended for cultivation in this area. **Materials and methods.** The experimental part of the work was carried out in 2012–2017 in the fields of Pushkin and Pavlovsk Laboratories of VIR. Nine low-pentosan winter rye cultivars bred at VIR were analyzed. Sowing time was within the period from August 28 to September 11. Agricultural practice used in the experiments was conventional for the Northwestern Region. The area of the plot was 10 m²; there were three replications. Seeding rate was 350 seeds/m² or 3.5 million viable seeds per hectare. Analysis of variance was used for mathematical processing. Parameters of adaptability, stability, plasticity and stress resistance were calculated for the “grain protein content” indicator. **Results.** Protein content in grain for the studied winter rye cultivars in the environments of the Northwest region averaged 10.3% and varied from 8.7% to 12.2% depending on environmental conditions and hereditary features of the cultivars. It was confirmed by the results of the analysis of variance: the share of the ‘year of trial’ factor’s effect on protein content was 71.9%. The best conditions for increased protein content were observed in 2012, 2013 and 2016 (10.7%, 11.9% and 12.2%, respectively). The analysis of average protein content in grain showed that the cultivars ‘Ilmen’, ‘Vavilovskaya’, ‘Krasnoyarskaya universalnaya’, Novaya Era, ‘Yantarnaya’ exceeded the reference cultivar ‘Era’ by (1.0 – 10.0%). The most adaptable in the context of grain protein content under the conditions of the Northwestern Region were the winter rye cultivars ‘Ilmen’, ‘Era’, ‘Yantarnaya’, Novaya Era, and Rushnik 2. The sum of their ranks according to the coefficients of variation (V), environmental plasticity (O), relative trait stability (St²) and homeostasis (Hom), as well as each cultivar’s adaptability coefficient (AC), stress resistance level (Y min – Y max) and compensatory ability (Y min + Y max/2), was 13–31 units. **Conclusion.** Rye cultivars ‘Ilmen’, ‘Era’, ‘Yantarnaya’, Novaya Era, and Rushnik 2 possess high adaptability and can maintain high protein content levels in grain under widely varied environmental conditions in the Northwestern Region of Russia.

Key words: winter rye, cultivar, adaptability, homeostasis, genotype, environments, cultivation conditions, potential, environmental plasticity, stability, variability, grain protein content, rank, stress resistance

Введение

Среди озимых зерновых рожь – одна из основных, хорошо приспособленных к условиям России культур. Однако в последнее время произошло сокращение площадей посевов ржи. Одна из основных причин уменьшения площади посева – несовершенство возделываемых в производстве сортов ржи. Исправить эту ситуацию можно за счет создания и внедрения в производство новых отечественных сортов, сочетающих адаптивность и потенциальную высококачественную продуктивность (Goncharenko, 2014; Kobylansky, Solodukhina, 2013; Kobylansky et al., 2015). Содержание белка в зерне наряду с урожайностью – важнейший показатель при оценке параметров пластичности, стабильности, гомеостатичности и стрессоустойчивости сорта, поскольку позволяет судить о его отзывчивости на улучшение или ухудшение условий возделывания. В зерне ржи, в зависимости от условий выращивания и сорта, содержится 9–17% белка, 52–63% крахмала, 1,6–1,9% жира. Белок озимой ржи по аминокислотному составу более сбалансирован, чем у пшеницы и других зерновых культур. Он богаче лизин, треонином, фенилаланином и аргинином, которые определяют его биологическую ценность для организма человека и животных. Имеющиеся колебания процентного содержания белка, крахмала и жира большинство исследователей объясняют влиянием условий выращивания и генетическими особенностями сортов (Utkina, Kedrova, 2018; Kobylansky et al., 2016; Shakirzyanov et al., 2010). Проблема получения стабильных и качественных урожаев была актуальной с первых лет возделывания озимой ржи в Северо-Западном регионе РФ. Разнообразие условий, а также резкие колебания погодных условий по годам – причины, которые направляют усилия селекционеров на создание экологически пластичных сортов, обеспечивающих достаточно высокие и качественные урожаи в благоприятных условиях возделывания и не снижающих их в стрессовых условиях. Чем менее приспособлен сорт к условиям внешней среды, тем в большей мере изменяется химический состав зерна под влиянием факторов среды, тем в большей степени варьирует качество продукции получаемого сорта. К сожалению, вопросы экологической пластичности сортов озимой ржи в условиях Северо-Западного региона изучены недостаточно.

Цель исследований – дать всестороннюю оценку по признаку «содержание белка в зерне» экологической адаптивности, стабильности, пластичности и стрессоустойчивости низкопентозановых сортов озимой ржи селекции ВИР.

Материалы и методы

Экспериментальная часть работы проводилась в течение 2012–2017 гг. на опытных полях Пушкинских лабораторий ВИР (НПБ «Пушкинские и Павловские лаборатории ВИР»). Сроки посева – в период с 28 августа по 11 сентября. Агротехника проведения опыта общепринятая для Северо-Западного региона. Площадь делянки – 10 м², повторность трехкратная. Норма высева – 350 зерен/м² или 3,5 млн всхожих зерен на гектар. Посев проведен селекционной сеялкой СФФК-7. В течение вегетационного периода проводились фенологические наблюдения. Уборка проводилась в фазу полной

спелости селекционно-семеноводческим комбайном Samro 130. Содержание белка определяли в отделе биохимии ВИР под руководством кандидата биологических наук В. И. Хоревой.

Объектами исследований, результаты которых представлены в данной статье, являлись 9 сортов озимой ржи селекции ВИР, созданные сотрудниками ВИР В. Д. Кобылянским (отдел генетических ресурсов овса, ржи и ячменя) и О. В. Солодухиной (отдел генетики) при реализации конкурсного проекта РАСХН «Разработать теоретические основы селекции сортов озимой ржи, пригодных для использования в комбикормовой, хлебопекарной и перерабатывающей промышленности (2004–2011 гг.)». Ниже приведена краткая характеристика сортов и предсорт.

‘Ильмень’ (к-11000) – выведен методом многократных рекуррентных скрещиваний с донорами короткостебельности при систематических отборах до цветения и после созревания. Сорт среднепоздний, среднеустойчивый к полеганию, зимостойкость высокая, крупнозерный. Среднеустойчив к снежной плесени и мучнистой росе, восприимчив к бурой, сильно устойчив к стеблевым ржавчинам. До 2017 года районирован в Северо-Западном регионе.

‘Красноярская универсальная’ (к-11818) – создан отбором из сложной гибридной популяции от скрещивания 5 сортов и доноров ценных признаков «оптико-визуальным методом» и сложной гибридной популяции от скрещивания сибирских сортов ‘Мининская’, ‘Енисейка’, ‘Короткостебельная 69’, лучших 9 клоновых штаммов, характеризующихся низким содержанием арабиноксиланов (0,31–0,50%) в зерне. Среднеранний, устойчивость к полеганию высокая. Зимостойкость повышенная. Зерно светло-желтое, средней крупности. Характеризуется высокими хлебопекарными свойствами зерна. Допущен к использованию в 2018 году по Восточно-Сибирскому региону в качестве сорта зернофуражной ржи универсального использования.

‘Берегиня’ (к-11822) – создан с использованием «метода клоновых половинок» и «методом оптико-визуальной идентификации клонов» с низким ВАК в зерне из гибридной популяции {[Ника × Эра] × Рушник} × Снежана F₃ с последующим объединением в новую популяцию с низким (0,6–0,8%) содержанием водорастворимых арабиноксиланов (ВАК) в зерне. Сорт поздний, зимостойкий, устойчив к полеганию, зерно крупное. Умеренно устойчив к бурой ржавчине, восприимчив к фузариозу колоса. Восприимчив к снежной плесени. Районирован в 2016 году в качестве сорта хлебопекарной и зернофуражной озимой ржи в Северном и Северо-Западном регионах РФ.

Ника 3 (к-11823) – предсорт, созданный с использованием «метода накопительных внутривидовых скрещиваний», «метода оптико-визуальной идентификации отбора тонкопокровных генотипов», «метода клоновых половинок» из сорта ‘Ника’ с последующим отбором для создания новой популяции Ника 3. Среднепоздний, высокостойкий, высокорослый, зерно средней крупности. Сорт рекомендован для возделывания в качестве сорта хлебопекарной и зернофуражной озимой ржи в Уральском регионе РФ с низким содержанием арабиноксиланов в зерне.

Новая Эра (к-11814) – предсорт, созданный «методом клоновых половинок» из популяции районированного сорта Эра. Были отобраны генотипы с низким содержанием арабиноксиланов по показателям биохимического

анализа с последующим объединением в популяцию. Поздний, длинностебельный, зимостойкость на уровне стандарта, среднеустойчив к полеганию, зерно крупное. Сорт рекомендован для возделывания в Северо-Западном регионе РФ в качестве сорта универсального использования и для селекции зернофуражной озимой ржи с низким содержанием водорастворимых арабиноксиланов в зерне во всех регионах России. Зерно пригодно для использования в комбикормовой, хлебопекарной, крупяной и перерабатывающей промышленности.

Рушник 2 (к-11820) – предсорт, созданный с использованием «метода клоновых половинок» и «метода оптико-визуальной идентификации тонкопокровных низкопентозановых клонов» из популяции районированного сорта 'Рушник' и последующим объединением их в новую популяцию. Среднепоздний, высокорослый, зимостойкость высокая, устойчивость к полеганию выше средней, зерно средней крупности. Рекомендован для возделывания в Северо-Восточном регионе РФ в качестве сорта зернофуражной озимой ржи универсального использования, в том числе и для селекции.

'Вавиловская' (к-11819) – создан с использованием «метода клоновых половинок» при оптико-визуальной идентификации и отборе из популяции 17 доноров ценных признаков коллекции ВИР, в том числе лучших клонов с низким содержанием арабиноксиланов в зерне (0,42–0,60%). Сорт позднеспелый, среднерослый, зимостойкий, устойчивость к полеганию высокая, зерно сизое, крупное. Устойчив к бурой и стеблевой ржавчинам, мучнистой росе. Допущен к использованию в 2016 году для возделывания в районах Центрального региона Европейской части РФ в качестве универсальной озимой ржи с низким содержанием арабиноксиланов в зерне. Пригоден для использования в хлебопекарной, крупяной, зернофуражной и перерабатывающей промышленности.

'Янтарная' (к-11804) – сорт-донор, созданный из сложной популяции оригинальным авторским «методом клоновых половинок», позволяющим отбирать лучшие генотипы растений из 20 доноров ценных признаков с низким содержанием водорастворимых арабиноксиланов (ВАК) по показателям биохимического анализа с последующим объединением лучших продуктивных клонов в новую популяцию. Сорт среднеспелый, высокорослый, высокозимостойкий, среднеустойчив к полеганию, зерно светло-желтое, крупное. Сорт районирован в 2018 году по Северо-Уральскому региону РФ в качестве сорта универсального использования.

'Эра' (к-11640) – создан индивидуально-семейным отбором из гибридной популяции, полученной после пятикратных беккроссов сорта 'Волхова' с донорами 'Тетера' и 'Саним'. Сорт среднепоздний, среднерослый, высокозимостойкий, устойчив к полеганию. Поражается незначительно бурой ржавчиной и снежной плесенью. Районирован в 2001 году по Северо-Западному, Центральному, Волго-Вятскому регионам.

Все перечисленные сорта относятся ко ржи диплоидной, озимой (*Secale cereale* L. var. *vulgare* Koern.) (Kobylyansky et al., 2017).

Оценки и учеты проведены согласно методике ВИР по изучению и сохранению мировой коллекции ржи (Kobylyansky et al., 2015). Математическую обработку с целью выявления существенных различий проводили методом дисперсионного анализа. В качестве меры определения относительной стабильности сорта использует

коэффициент вариации (Dospekhov, 1985):

$$V = \frac{s}{\bar{x}} \times 100\% \quad (1)$$

где v – стандартное отклонение, выраженное в процентах к средней арифметической данной совокупности; s – стандартное отклонение; $\bar{x}$ – среднее арифметическое содержание белка.

Коэффициент экологической пластичности рассчитывали по Д. И. Баранскому (Baransky, 1926), предложившему выразить ее формулой:

$$O = \frac{\bar{M}}{\sigma} \quad (2)$$

где O – коэффициент экологической пластичности; $\bar{M}$ – среднее содержание белка; σ – среднее квадратическое отклонение.

Метод Н. А. Соболева (Sobolev, 1980) основан на вычислении относительной стабильности признака по формуле:

$$St^2 = \frac{\bar{x}^2 - S^2}{\bar{x}^2} \quad (3)$$

где St^2 – относительная стабильность признака; $\bar{x}^2$ – средний урожай сорта; S^2 – общая дисперсия содержания белка данного сорта.

В. В. Хангильдин (Khangildin, Asfondiyarova, 1977) предложил для расчета гомеостатичности использовать показатель (Hom):

$$Hom = \frac{\bar{x}}{cv} \quad (4)$$

где $\bar{x}$ – средняя арифметическая величина содержания белка в зерне; cv – коэффициент вариации зерна.

Л. А. Животков (Zhivotkov et al., 1994) при определении пластичности рассчитывал коэффициент адаптивности (КА) для каждого года и сорта по формуле:

$$KA = (X_{ij} \times 100 : X) : 100 \quad (5)$$

где X_{ij} – содержание белка в зерне i -го сорта в j -й год испытания; X – среднее сортовое содержание белка в зерне.

Устойчивость к стрессу и компенсаторную способность сорта определяли по А. А. Rossielle и J. Hemblin (Rossielle, Hemblin, 1981) в изложении А. А. Гончаренко (Goncharenko, 2005):

$$\text{Устойчивость к стрессу} = Y_{\min} - Y_{\max} \quad (6)$$

где $Y_{\min}$ – минимальное содержание белка; $Y_{\max}$ – максимальное содержание белка. Компенсаторную способность сорта рассчитывали по формуле:

$$\text{Компенсаторная способность} = Y_{\min} + Y_{\max} / 2 \quad (7)$$

По данным гидрометеорологического центра, в черте г. Пушкин (Ленинградская обл.) в период исследований 2012–2017 гг. сложились контрастные условия (рисунок).

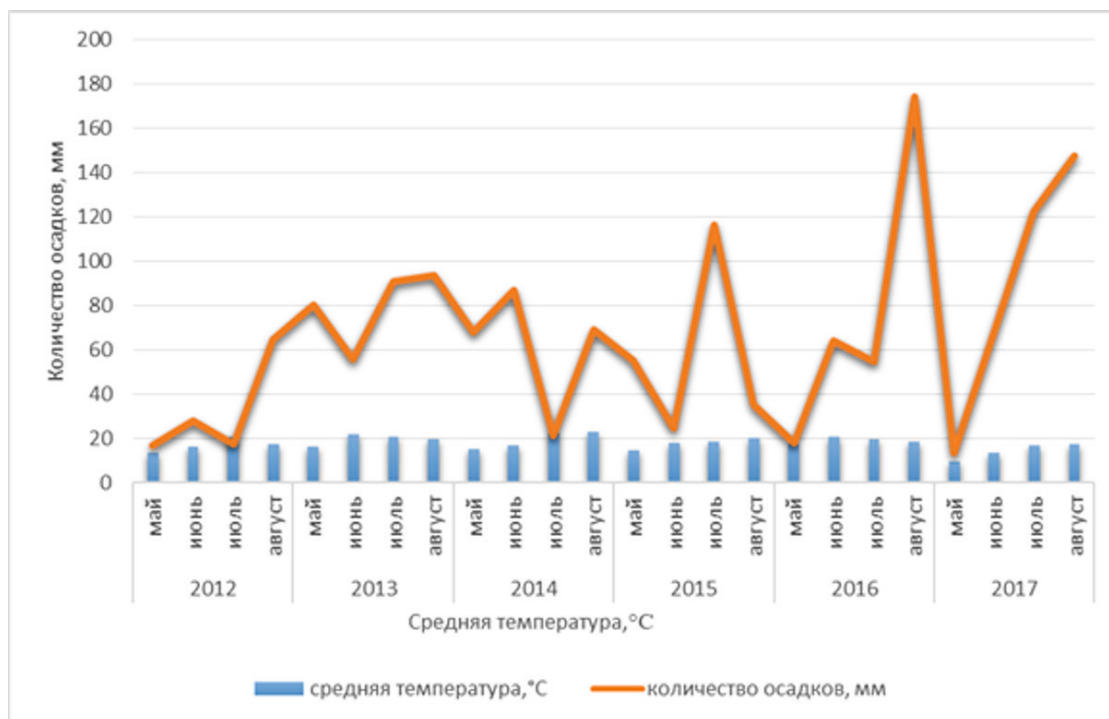


Рисунок. Характеристика погодных условий вегетационных периодов 2012–2017 гг. (Ленинградская область)

Figure. Description of weather conditions in the growing seasons of 2012–2017 (Leningrad Province)

Период вегетации 2012 года характеризовался как засушливый, с повышенными температурами воздуха с мая по август (+0,9 ÷ +3,1°C) с недобором осадков за этот же период (–13,2 ÷ –54,8 мм). Достаточным увлажнением отличался период вегетации 2013 года: сумма осадков превышала среднемноголетние данные (май, июль, август: +38,1; +18,6; +16,0 мм соответственно) на фоне избытка тепла (+2,9 – +6,2°C). Превышением суммы среднесуточных температур с мая по август (+2,4 – +7,0°C) характеризовался период вегетации 2014 года на фоне недобора осадков в июле и августе (–50,8 ÷ –8,6 мм) и дождями ливневого характера в мае, июне. В 2015 году наблюдалось неравномерное распределение осадков: в июне, августе – недобор (–35 ÷ –42 мм) и превышение в мае, июле (+12,7 ÷ +44,0 мм) на фоне избытка тепла за этот же период (+0,8 ÷ +4,0°C). Достаточным увлажнением характеризовался период 2016 года: при недоборе осадков в мае (–24,4 мм) наблюдалось их превышение в июне, июле и августе (+4,4; +30,0; +96,7 мм) на фоне избытка тепла (+1,8 ÷ +7,4°C) за весь период. В 2017 году наблюдалось неравномерное распределение тепла и влаги. Недобор осадков в мае, июне (–32,6 ÷ –2,5 мм) менялся на их избыток в июле, августе (+43,5; +64,6 мм) при недостатке тепла в мае, июне, июле (–1,9 ÷ –2,3°C).

Результаты и обсуждение

Основная задача производства – это не только получение высоких и стабильных урожаев, но и получение зерна высокого качества. В настоящее время недостаточное внимание уделяется изучению адаптивности сортов озимой ржи к условиям выращивания по показателям качества зерна. Эта проблема особенно актуальна в районах с резким проявлением неблагоприятных условий

климата, к которым относится Ленинградская область.

Хорошие погодные условия для формирования высокого содержания белка в зерне были благоприятными в 2012, 2013 и 2016 годах, в 2012 году оно составляло 9,1–12,4%, в 2013 – 10,9–13,4%, в 2016 – 11,0–13,5%. Неблагоприятными были оставшиеся три года, что негативно сказалось на содержании белка в зерне ржи, которое изменялось от 7,6 до 10,4%. Результаты анализа среднего содержания белка в зерне показали, что сорта 'Ильмень', 'Вавиловская', 'Красноярская универсальная', Новая Эра, Рушник 2, 'Янтарная' превысили стандартный сорт 'Эра' на 1,0–10,0% (табл. 1).

По мнению многих авторов, для объективной, полной характеристики сортов на первом этапе устанавливается наличие взаимодействия «генотип – среда» для изучаемых сортов. Методом двухфакторного дисперсионного анализа содержания белка в зерне установлено, что дисперсия как сорта, так и года достоверно превышает дисперсию ошибки. Это свидетельствует о разной реакции сортов на изменение климатических условий.

Доминирующее влияние на изменчивость признака «содержание белка в зерне» оказывал фактор «год» – 71,9%. Фактор «сорт» определяет проявление признака на 13,9% (табл. 2). Это позволяет проводить дальнейший расчет параметров экологической адаптивности. Существуют разнообразные методы математического анализа, с помощью которых можно учесть реакцию сортов на меняющиеся условия среды. В связи с этим актуальным являются сопоставления разных методов оценки адаптивности по размещающей способности, информативности, объективности. В данной работе использованы лишь некоторые из них.

На современном этапе часто используют коэффициент вариации по Б. А. Доспехову (Dospikhov, 1985). В прак-

Таблица 1. Содержание белка в зерне у сортов озимой ржи селекции ВИР**Table 1.** Grain protein content in winter rye cultivars developed at VIR

Сорт	Содержание белка в зерне по годам, %						Среднее	% к стандарту
	2012	2013	2014	2015	2016	2017		
Ильмень	12,4	12,0	10,4	9,5	11,6	9,4	10,9	110
Красноярская универсальная	11,8	12,6	9,9	8,6	12,7	8,8	10,7	108
Берегиня	10,8	12,0	9,9	7,6	11,0	8,1	9,9	100
Ника 3	9,5	12,0	9,7	8,0	13,5	8,2	10,2	103
Новая Эра	11,6	11,6	9,2	8,3	13,2	9,5	10,6	107
Рушник 2	9,1	10,9	10,2	9,8	12,3	8,2	10,1	102
Вавиловская	11,1	13,4	10,2	8,9	13,2	8,1	10,8	109
Янтарная	9,9	11,8	9,6	8,9	11,3	8,4	10,0	101
Эра (стандарт)	10,1	11,0	9,2	8,9	11,3	8,6	9,9	100
среднее	10,7	11,9	9,8	8,7	12,2	8,6	10,3	–
НСР _{0,5}	0,51	0,55	0,40	0,38	0,51	0,40	–	–

Таблица 2. Результаты двухфакторного дисперсионного анализа сортов озимой ржи по показателю «содержание белка в зерне»**Table 2.** Results of two-factor analysis of variance for winter rye cultivars assessed according to their 'grain protein content' indicator

Дисперсия	Сумма квадратов	Степени свободы	Среднее квадратичное	F		Доля вклада в %
				F _{факт}	F _{0,5}	
Общая	152,39	53	–	–	–	–
Сорта (А)	21,2	8	2,65	4,9	3,03	13,9
Годы (В)	109,7	5	21,9	39,8	4,4	71,9
Остаток (ошибка)	21,49	10	0,54	–	–	–

тике принято считать, что если коэффициент вариации менее 10% – изменчивость незначительная; средняя, если V выше 10%, но менее 20%; и значительная, если коэффициент вариации более 20%. Средняя изменчивость содержания белка в зерне отмечена у сортов 'Эра', 'Ильмень', 'Янтарная', Рушник 2. Содержание белка в зерне меняется более значительно у сортов 'Вавиловская', Ника 3 (табл. 3).

Один из первых методов оценки пластичности сортов был предложен Д. И. Баранским в 1926 г. Изучая урожай одних и тех же сортов, он заметил различное отношение сортов к окружающей среде: одни резко отзываются на всякие изменения последней, другие держат себя более независимо от условий, и поэтому урожай первых варьировал сильнее, чем вторых. В нашем случае наиболее пластичными по содержанию белка в зерне оказались сорта ржи 'Эра', 'Янтарная', 'Ильмень', Рушник 2. Более стабильно формировали повышенное содержание белка в зерне сорта Ника 3, 'Вавиловская', 'Красноярская универсальная', 'Берегиня', Новая Эра.

Н. А. Соболев (Sobolev, 1980) оценивает экологическую стабильность по показателю относительной стабильности признака (St^2).

Значение показателя варьирует в пределах от 0 до 1; чем выше показатель стабильности, тем чаще способен сорт формировать высокое содержание белка в зерне.

Рассчитанный показатель подтверждает стабильность высокого содержания белка в зерне сортов ржи 'Эра', 'Ильмень', 'Янтарная', Рушник 2, Новая Эра, 'Берегиня'.

В. В. Хангильдин (Khangildin, Asfondiyarova, 1977) использовал один из показателей, характеризующих устойчивость растений к воздействию неблагоприятных факторов среды, – гомеостаз, являющийся способностью генотипа сводить к минимуму последствия воздействия неблагоприятных условий. С меньшей вариабельностью белка в зерне в изменяющихся условиях среды он связывал проявление высокой гомеостатичности. В нашей работе наиболее устойчивы к изменению условий выращивания по признаку «содержание белка в зерне» сорта ржи 'Ильмень', 'Эра', 'Янтарная', Рушник 2.

Л. А. Животков (Zhivotkov et al., 1994) для расчета адаптивности сорта общую видовую реакцию рассчитывал путем суммирования содержания белка в зерне отдельных сортов за год с последующим делением на общее число сортов. По коэффициенту адаптивности судят об адаптивных возможностях сорта. Если он больше 1,0%, то сорт способен увеличивать содержание белка в зерне. Рассчитанные коэффициенты подтверждают высокую адаптивность содержания белка в зерне у сортов ржи Новая Эра, 'Ильмень', 'Красноярская универсальная', Низкие показатели адаптивности характерны для сортов 'Янтарная', 'Эра', 'Берегиня', Ника 3, Рушник 2 (табл. 4).

Таблица 3. Параметры пластичности, стабильности, гомеостатичности качества зерна сортов озимой ржи
Table 3. Parameters of plasticity, stability and homeostasis for grain quality of winter rye cultivars

Сорт	Параметры адаптивности			
	V, %	O	St ²	Hom
Ильмень	13,3	7,15	0,87	0,82
Красноярская универсальная	19,9	5,02	0,80	0,54
Берегиня	17,9	5,56	0,82	0,55
Ника 3	21,3	4,68	0,79	0,48
Новая Эра	17,7	5,64	0,82	0,60
Рушник 2	14,4	6,79	0,86	0,70
Вавиловская	21,0	4,76	0,79	0,51
Янтарная	13,7	7,3	0,86	0,73
Эра (стандарт)	12,4	8,05	0,88	0,80

V – коэффициент вариации, %; O – коэффициент экологической пластичности;
 St² – относительная стабильность признака; Hom – коэффициент гомеостатичности

Таблица 4. Показатели коэффициента адаптивности сортов озимой ржи
Table 4. Adaptability coefficient values for winter rye cultivars

Сорт	Коэффициент адаптивности (КА)						
	2012	2013	2014	2015	2016	2017	среднее
Ильмень	1,16	1,0	1,06	1,09	0,95	1,09	1,06
Красноярская универсальная	1,10	1,05	1,01	0,99	1,04	1,02	1,03
Берегиня	1,0	1,00	1,01	0,87	0,90	0,94	0,96
Ника 3	0,89	1,0	0,99	0,92	1,11	0,95	0,95
Новая Эра	1,08	0,97	0,94	0,95	1,08	1,10	1,10
Рушник 2	0,84	0,91	1,04	1,12	1,00	0,95	0,95
Вавиловская	1,03	1,13	1,04	1,02	1,08	0,94	0,94
Янтарная	0,93	0,99	0,98	1,02	0,93	0,98	0,98
Эра (стандарт)	0,94	0,92	0,94	1,02	0,93	1,0	0,96

В различных условиях выращивания, в оптимальных и экстремальных, важным показателем сортов является их устойчивость к стрессу, уровень которого определяется по разности между минимальным и максимальным содержанием белка в зерне. Этот параметр имеет отрицательный знак: чем он меньше, тем выше стрессоустойчивость сортов. В связи с этим все изучаемые сорта можно разделить на три класса:

1. С минимальной разницей (до –4,0): ‘Эра’, ‘Ильмень’, ‘Янтарная’;
2. Со средними значениями (–4,0... –5,0): ‘Красноярская универсальная’, ‘Рушник 2’, ‘Берегиня’;
3. С максимальной разницей (–5,0... –6,0): ‘Ника 3’, ‘Вавиловская’.

Среднее значение максимальных и минимальных показателей содержания белка в зерне отражает содержание белка в зерне в контрастных условиях, его компенсаторную способность. Исходя из этого, все изучаемые сорта разделены на 2 группы:

1. Высокая компенсаторная способность: ‘Ильмень’, ‘Ника 3’, ‘Вавиловская’, ‘Новая Эра’, ‘Красноярская универсальная’;
2. Низкая компенсаторная способность: ‘Рушник 2’, ‘Янтарная’, ‘Эра’, ‘Берегиня’ (табл. 5).

Все вышеизложенные методы имеют определенные достоинства и недостатки, поэтому оценка сортов одним показателем недостаточно объективно отражает их пластичность и стабильность. Наиболее полную информацию дает сравнение методик, позволяющее давать оценку стабильности более точно. В этом случае целесообразно пользоваться принципом ранжирования сортов по параметрам, а оценку проводить по сумме рангов, полученной каждым сортом. При этом следует учитывать, что 1 – это наиболее высокий ранг, а 9 – ранг более низкий. В наших исследованиях большей устойчивостью к варьирующим условиям выращивания обладают сорта озимой ржи ‘Ильмень’ (стародавний), ‘Эра’ (стандарт) и низкокомпенсаторные ‘Янтарная’, ‘Новая Эра’, ‘Рушник 2’ (табл. 6).

Таблица 5. Стрессоустойчивость содержания белка в зерне сортов озимой ржи**Table 5. Adaptability coefficient values for winter rye cultivars**

Сорт	Y, т/га	Ymin, т/га	Ymax, т/га	Y min – Y max	Y min + Y max/2
Ильмень	10,9	9,4	12,4	–3,0	10,9
Красноярская универсальная	10,7	8,6	12,7	–4,1	10,6
Берегиня	9,9	7,6	12,0	–4,4	9,8
Ника 3	10,2	8,0	13,5	–5,5	10,7
Новая Эра	10,6	8,3	13,2	–4,9	10,7
Рушник 2	10,1	8,2	12,3	–4,1	10,3
Вавиловская	10,8	8,1	13,4	–5,2	10,8
Янтарная	10,0	8,4	11,8	–3,4	10,1
Эра (стандарт)	9,9	8,6	11,3	–2,7	10,0

Таблица 6. Ранжирование сортов озимой ржи по показателям адаптивности, определенным разными методами**Table 6. Ranking of winter rye cultivars according to their adaptability parameters calculated by different methods**

Сорт	Ранг по							Сумма
	O	CV, %	St ²	Hom	КА	Y min – Y max	Y min + Y max/2	
Ильмень	3	2	2	1	2	2	1	13
Красноярская универсальная	7	7	7	7	3	4	4	39
Берегиня	6	6	6	6	5	5	8	42
Ника 3	9	9	9	9	6	8	2	52
Новая Эра	5	5	5	5	1	6	3	30
Рушник 2	4	4	4	4	6	4	5	31
Вавиловская	8	8	8	8	7	7	2	48
Янтарная	2	3	3	3	4	3	6	24
Эра (стандарт)	1	1	1	2	5	1	7	18

Закключение

1. На основе экспериментального материала из 6 использованных методов адаптивности следует обратить особое внимание на показатель гомеостатичности, показатели стабильности и стрессоустойчивости сортов.

2. Наиболее адаптивными сортами для возделывания озимой ржи на зерно в Северо-Западном регионе России являются сорта 'Ильмень' (стародавний), 'Эра' (стандарт) и низкопентозановые 'Янтарная', Новая Эра, Рушник 2, способные давать относительно высокое и стабильное качество зерна не только в благоприятных, но и в контрастных условиях.

Работа выполнена в рамках государственного задания согласно тематическому плану ВИР по теме № 0662-2019-0006 «Поиск, поддержание жизнеспособности и раскрытие потенциала наследственной изменчивости мировой коллекции зерновых и крупяных культур ВИР для развития, оптимизированного генбанка и рационального использования в селекции и растениеводстве».

References/Литература

- Aniskov N. I., Kobylansky V. D., Safonova I. V. (2016) Assessment of ecological stability and plasticity of new winter rye cultivars in the Northwestern region (Otsenka ekologicheskoy stabilnosti i plastichnosti novykh sortov ozimoy rzhi v usloviyakh Severo-Zapadnogo regiona). *Eurasian Union of Scientists (Yevraziyskiy soyuz uchenykh)*, no. 3–3(24), pp. 118–121 [in Russian] (Аниськов Н. И., Кобылянский В. Д., Сафонова И. В. Оценка экологической стабильности и пластичности новых сортов озимой ржи в условиях Северо-Западного региона. Евразийский союз ученых. 2016. № 3–3(24). С. 118–121).
- Baransky D. I. (1926) Ecological plasticity and its role in the process of modifying a mixture of cultivars (Ekologicheskaya plastichnost i yе rol v protsesse "pererozhdeniya" sortosmesi). *Vidchit. Selekt. Vid. Od. Kr. S.-G. Dosl. St.*, iss. II, pp. 81–91 [in Russian] (Баранский Д. И. Экологическая пластичность и ее роль в процессе перерождения сортосмеси // Відчит. селекц. від. Одес. крайов. с.-г. досл. ст., 1926, вып. II, с. 81–91).
- Dospekhov B. A. (1985) Methodology of field trial (Metodika

- polevogo opyta). Moscow: Agropromizdat, 352 p. [in Russian] (*Доспехов Б. А. Методика полевого опыта*. М.: Агропромиздат, 1985. 352 с.).
- Goncharenko A. A. (2005) On adaptability and environmental sustainability of cereal crop cultivars (Ob adaptivnosti i ekologicheskoy ustoychivosti sortov zernovykh kultur). *Bulletin of the RAAS (Vestnik RASKhN)*, no. 6, pp. 49–53 [in Russian] (*Гончаренко А. А. Об адаптивности и экологической устойчивости сортов зерновых культур // Вестник РАСХН*. 2005. № 6. С. 49–53).
- Goncharenko A. A. (2014) Topical issues of winter rye breeding (Aktualnyye voprosy seleksii ozimoy rzhii). Moscow, 369 p. [in Russian] (*Гончаренко А. А. Актуальные вопросы селекции озимой ржи*. М., 2014. 369 с.).
- Khangildin V. V., Asfondiyarova R. R. (1977) Expression of homeostasis in cultivated pea hybrids (Proyavleniye gomeostaza u gibridov gorokha posevnogo). *Biological Sciences (Biologicheskie nauki)*, no. 1, pp. 116–121 [in Russian] (*Хангильдин В. В., Асфондиярова Р. Р. Проявление гомеостазиса у гибридов гороха посевного // Биологические науки*. 1977. № 1. С. 116–121).
- Kobylyansky V. D., Aniskov N. I., Safonova I. V., Horeva V. I., Solodukhina O. V. (2017) Donors and sources of valuable traits in winter rye with reference to breeding problems (Donory i istochniki tsennykh priznakov ozimoy rzhii primenitelno k zadacham seleksii). *Catalogue of the VIR Global Collection (Katalog mirovoy kollektsii VIR)*. Iss. 844. St. Petersburg: VIR, 2017, 38 p. [in Russian] (*Кобылянский В. Д., Анисков Н. И., Сафонова И. В., Хорева В. И., Солодухина О. В. Доноры и источники ценных признаков озимой ржи применительно к задачам селекции. Каталог мировой коллекции ВИР*. Вып. 844. СПб.: ВИР, 2017. 38 с.).
- Kobylyansky V. D., Safonova I. V., Aniskov N. I. (2015) Productivity and adaptability parameters of low-pentosan winter rye cultivars developed at VIR under the conditions of the Northwestern Region (Urozhaynost i parametry adaptivnosti sortov nizkopentozanovoy ozimoy rzhii seleksii VIR v usloviyakh Severo-Zapadnogo regiona). In: Materials of the International Distance Scientific and Practical Conference 'Vital Trends of Scientific Research in the 21st Century: Theory and Practice' (Aktualnyye napravleniya nauchnykh issledovaniy 21 veka: Teoriya i praktika), no. 2, pp. 113–122 [in Russian] (*Кобылянский В. Д., Анисков Н. И., Сафонова И. В. Урожайность и параметры адаптивности сортов низкопентозановой озимой ржи селекции ВИР в условиях Северо-Западного региона. Материалы международной заочной научно-практической конференции. Актуальные направления научных исследований 21 века: Теория и практика*. 2015. № 2. С. 113–122).
- Kobylyansky V. D., Safonova I. V., Solodukhina O. V., Aniskov N. I. (2015) Study and conservation of the global rye collection. Guidelines (Izucheniye i sokhraneniye mirovoy kollektsii rzhii. Metodicheskiye ukazaniya). St. Petersburg: VIR, 44 p. [in Russian] (*Кобылянский В. Д., Сафонова И. В., Солодухина О. В., Анисков Н. И. Изучение и сохранение мировой коллекции ржи. Методические указания*. СПб.: ВИР, 2015. 44 с.).
- Kobylyansky V. D., Solodukhina O. V. (2013) Theoretical fundamentals for breeding forage grain rye with low content of water-soluble pentosans. *Agricultural Biology*, no. 2, pp. 31–39 [in Russian] (*Кобылянский В. Д., Солодухина О. В. Теоретические основы селекции зернофуражной ржи с низким содержанием водорастворимых пентозанов // С.-х. биология*. 2013. № 2. С. 3–39).
- Shakirzyanov A. H., Leshchenko N. I., Myzgaeva V. A., Kolesnikova N. V. (2010) Adaptability of winter rye cultivars bred at Bashkir Research Institute of Agriculture (Adaptivnost sortov ozimoy rzhii seleksii Bashkirskogo NIISKH). *Achievements of Science and Technology in Agroindustry (Dostizheniya nauki i tekhniki APK)*, no. 1, pp. 11–12 [in Russian] (*Шакирзянов А. Х., Лещенко Н. И., Мызгаева В. А., Колесникова Н. В. Адаптивность сортов озимой ржи селекции Башкирского НИИСХ // Достижения науки и техники АПК*. 2010. № 1. С. 11–12).
- Sobolev N. A. (1980) The problem of selection and evaluation of breeding material (Problema otbora i otsenka selektsionnogo materiala). Kiev, pp. 100–106 [in Russian] (*Соболев Н. А. Проблема отбора и оценка селекционного материала*. Киев, 1980. С. 100–106).
- Utkina E. I., Kedrova L. I. (2018) Winter hardiness of winter rye: Problems and solutions (Zimostoykost ozimoy rzhii: problemy i resheniya). *Agrarian Science of Euro-Northwest (Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka)*, vol. 62, no. 1, pp. 11–18 [in Russian] (*Уткина Е. И., Кедрова Л. И. Зимостойкость озимой ржи: проблемы и решения // Аграрная наука Евро-Северо-Востока*. 2018. Т. 62, № 1. С. 11–18).
- Zhivotkov L. A., Morozova Z. A., Sekatueva L. I. (1994) Methods of detecting potential productivity and adaptability in cultivars and breeding forms of winter wheat according to their 'yield' indicator (Metodika vyyavleniya potentsialnoy produktivnosti i adaptivnosti sortov i selektsionnykh form ozimoy pshenitsy po pokazatelyu "urozhaynosti"). *Plant Breeding and Seed Production (Seleksiya i semenovodstvo)*, no. 2, pp. 3–6 [in Russian] (*Животков Л. А., Морозова З. А., Секатueva Л. И. Методика выявления потенциальной продуктивности и адаптивности сортов и селекционных форм озимой пшеницы по показателю «урожайности» // Селекция и семеноводство*. 1994. № 2. С. 3–6). <http://earthpapers.net/ekologicheskaya-plastichnost-sortov-yarovoy-pshenitsy-v-usloviyah-severnogo-kazhstana#ixzz5iimGRCrT>

Прозрачность финансовой деятельности/The transparency of financial activities

Авторы не имеют финансовой заинтересованности в представленных материалах или методах.

Для цитирования/How to cite this article

Анисков Н. И., Сафонова И. В., Хорева В. И. Адаптивный потенциал сортов озимой ржи селекции ВИР по показателю «содержание белка в зерне» в условиях Ленинградской области. Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции. 2019; 180(1): 44–51. DOI: 10.30901/2227-8834-2019-1-44-51

Aniskov N. I., Safonova I. V., Horeva V. I. Adaptive potential of winter rye cultivars developed at VIR in the context of their grain protein content in the environments of Leningrad province. *Proceedings on applied botany, genetics and breeding*. 2019; 180(1): 44–51. DOI: 10.30901/2227-8834-2019-1-44-51

Авторы благодарят рецензентов за их вклад в экспертную оценку этой работы/The authors thank the reviewers for their contribution to the peer review of this work.

Дополнительная информация/Additional information

Полные данные этой статьи доступны/Extended data is available for this paper at <https://doi.org/10.30901/2227-8834-2019-1-44-51>

Мнение журнала нейтрально к изложенным материалам, авторам и их месту работы/The journal's opinion is neutral to the presented materials, the author, and his or her employer

Все авторы одобрили рукопись/All authors approved the manuscript

Конфликт интересов отсутствует/No conflict of interest