

ИЗУЧЕНИЕ И ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ГЕНЕТИЧЕСКИХ РЕСУРСОВ РАСТЕНИЙ

Научная статья
УДК 631.527.14
DOI: 10.30901/2227-8834-2023-2-66-75



Эффективность использования некоторых критериев определения адаптивности на примере сортов озимой ржи

И. В. Сафонова, Н. И. Аниськов

*Федеральный исследовательский центр Всероссийский институт генетических ресурсов растений
имени Н.И. Вавилова, Санкт-Петербург, Россия*

Автор, ответственный за переписку: Ирина Владимировна Сафонова, i.safonova@vir.nw.ru

Актуальность. Для большинства регионов России озимая рожь является незаменимым хлебным и кормовым злаком. В последнее время посевы озимой ржи сокращаются. Улучшить это положение возможно за счет создания сортов, обеспечивающих стабильно высокую продуктивность зерна в различных условиях выращивания. Поэтому измерение уровня адаптивности урожайности в разных математических величинах с использованием разнообразных методов – настоятельная необходимость.

Материалы и методы. Для объективной оценки сортов озимой ржи были рассчитаны и проанализированы параметры адаптивности: коэффициент интенсивности (И) и величина устойчивости индекса стабильности (У) по Удачину, Головченко; индекс стабильности (ИС) по Хангильдину; широта ареала (Jsp) по Eberhart, Russell; селекционная ценность (Sc) по Хангильдину; коэффициент отзывчивости (Кр.) по Зыкину; генотипический эффект (Ei) по Гурьеву; коэффициент выравненности (В) по Доспехову; коэффициент мультипликативности (КМ) по Драгавцеву; эффект реакции (Эр.) по Новохатину. Полевые опыты и изучение 8 сортов озимой ржи проводили согласно методическим указаниям ВИР в 2012–2017 гг.

Результаты и заключение. Выявлено значительное варьирование урожайности зерна, которое обусловлено высокой долей вклада фактора «год» – 79,4%. Лучшие условия для формирования высокой урожайности складывались в 2012 (6,2 т/га) и 2015 г. (6,6 т/га). Анализ шестилетней средней урожайности показал, что сорта 'Рушник 2' (к-11820), 'Берегиня' (к-11822), 'Новая Эра' (к-11814) превысили 'Ильмень' (к-11000) на 5–22%. Показано, что из десяти примененных показателей необходимо отметить коэффициент мультипликативности (КМ), величину устойчивости индекса стабильности (У), показатель селекционной ценности (Sc), эффект реакции сорта (Эр.), показатель широты ареала (Jsp), которые более достоверно устанавливают уровень адаптивности сорта. Высокоадаптивными из проанализированного набора сортов являются сорта 'Новая Эра', 'Янтарная' (к-11804), 'Берегиня', 'Вавиловская'.

Ключевые слова: экологическая пластичность, изменчивость, мультипликативность, ранг, индекс условий, генотипический эффект, урожайность, ареал распространения

Благодарности: работа выполнена в рамках государственного задания согласно тематическому плану ВИР по проекту № 0481-2022-0001 «Структурирование и раскрытие потенциала наследственной изменчивости мировой коллекции зерновых и крупяных культур ВИР для развития оптимизированного генбанка и рационального использования в селекции и растениеводстве».

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

Для цитирования: Сафонова И.В., Аниськов Н.И. Эффективность использования некоторых критериев определения адаптивности на примере сортов озимой ржи. *Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции*. 2023;184(2):66-75. DOI: 10.30901/2227-8834-2023-2-66-75

STUDYING AND UTILIZATION OF PLANT GENETIC RESOURCES

Original article

DOI: 10.30901/2227-8834-2023-2-66-75

The effectiveness of using some criteria for determining adaptability on the example of winter rye cultivars

Irina V. Safonova, Nikolay I. Aniskov

*N.I. Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources, St. Petersburg, Russia***Corresponding author:** Irina V. Safonova, i.safonova@vir.nw.ru

Background. For most regions of Russia, winter rye is an indispensable grain and fodder cereal. Recently, winter rye crops have been declining. It is possible to improve this situation by releasing cultivars that ensure consistently high grain productivity under various growing conditions. Therefore, measuring the level of adaptability for yields in different mathematical quantities using a variety of methods is an urgent need.

Materials and methods. For an unprejudiced assessment of winter rye cultivars, the following adaptability parameters were calculated and analyzed: the intensity coefficient (I) and constancy of the stability index (Y) according to Udachin and Golovchenko; stability index (IS) according to Hangildin; range breadth (Jsp) according to Eberhart and Russell; breeding value (Sc) according to Hangildin; responsiveness coefficient (Cr.) according to Zykin; genotypic effect (Ei) according to Guryev; equalization coefficient (B) according to Dospikhov; multiplicativity coefficient (KM) according to Dragavtsev; and reaction effect (Er.) according to Novokhatin. Field experiments and the study of 8 winter rye cultivars were carried out according to VIR's guidelines in 2012–2017.

Results and conclusion. A significant variation was found in grain yield; it was induced by the high contribution of the “year” factor (79.4%). The best conditions for higher yields were formed in 2012 and 2015. An analysis of the six-year average yield showed that cvs. ‘Rushnik 2’, ‘Bereginya’, and ‘Novaya Era’ exceeded ‘Ilmen’ by 5–22%. It was shown that among the selected ten indicators, worth attention were the multiplicativity coefficient, the stability index, the breeding value index, the reaction effect of a cultivars, and the range breadth index: they established the adaptability level of a cultivar with higher statistical significance. Cvs. ‘Novaya Era’, ‘Yanrarnaya’, ‘Bereginya’, and ‘Vavilovskaya’ from the analyzed set demonstrated high adaptability.

Keywords: environmental plasticity, variability, multiplicativity, rank, index of conditions, genotypic effect, yield, area of distribution

Acknowledgements: the research was performed within the framework of the state task according to the theme plan of VIR, Project No. 0481-2022-0001 “Structuring and disclosing the potential of hereditary variation in the global collection of cereal and groat crops at VIR for the development of an optimized genebank and its sustainable utilization in plant breeding and crop production”.

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

For citation: Safonova I.V, Aniskov N.I. The effectiveness of using some criteria for determining adaptability on the example of winter rye cultivars. *Proceedings on Applied Botany, Genetics and Breeding*. 2023;184(2):66-75. DOI: 10.30901/2227-8834-2023-2-66-75

Введение

В России озимая рожь обладает высокой способностью использовать природно-климатические ресурсы зоны для получения высокой продуктивности. Она способна произрастать в неблагоприятных условиях выращивания и позволяет получать качественную, дешевую продукцию. Рожь – культура с высоким потенциалом урожайности, высокая адаптивность которой позволяет давать хорошие урожаи на почвах с низким уровнем плодородия (Goncharenko, 2014). В 2018 г., по данным Росстата, площадь посева составляла 980,0 тыс. га. Валовой сбор ржи в 2019 г. составил 1429 тыс. тонн, что на 25,4% меньше чем в 2018 г. Это положение связано со снижением площади посева (на 13,0%) и с низкой урожайностью из-за погодных условий (Rye cropping areas..., 2019).

В связи с резким уменьшением площади посева, валовых сборов и урожайности новые сорта, наряду с высокой продуктивностью, должны иметь устойчивость к отрицательным условиям возделывания, то есть быть способными обеспечить высокую стабильность урожая. Многочисленными исследованиями отечественных и зарубежных авторов установлено, что урожайность – это наследуемый признак, который имеет полигенную систему и, несмотря на это, подвержен большой изменчивости в зависимости от метеорологических условий, минерального питания, предшественника и других не менее важных факторов. Создаваемые сорта чаще не требуются производством не из-за сниженного уровня потенциала продуктивности, а вследствие недостаточной экологической стабильности. На этапе подбора сорта определяющими признаками являются урожайность и возможность выращивания в разных почвенно-климатических условиях, устойчивость к болезням, вредителям и сорнякам, морозо- и зимостойкость, засухоустойчивость, устойчивость к полеганию, то есть приспособительные адаптивные возможности сорта к неблагоприятным условиям возделывания.

Адаптивные свойства и устойчивость к основным стрессовым факторам окружающей среды имеют самое большое значение в получении высокой и стабильной урожайности. Причем следует иметь в виду, что при равной урожайности преимущество будет иметь сорт с максимальной экологической приспособленностью (Utkina, Kedrova, 2018; Aniskov, Safonova, 2020). В соответствии с большим научно-практическим значением определения стабильности и пластичности предлагаемых производству сортов и популяций постоянно увеличивается количество подходов к оценкам этих свойств, возрастают различия в объяснении значений вычисляемых величин, что вызывает определенную трудность для ученых при выборе способов расчета. Разная биологическая трактовка одного и того же статистического показателя снижает эффективность использования.

Для интерпретации результатов испытаний и отбора перспективных фенотипов по многолетним данным в настоящее время предложены разные способы определения приспособительных возможностей, позволяющие оценить специфику проявления генотипических способностей статистическими величинами. Исследования, направленные на поиск более информативных методов оценки генотипа, показали, что не существует универсального показателя, способного оценить адаптивность сорта, и наиболее эффективным является использование комплекса приемов (Shakirzyanov et al., 2010).

Цель исследования – определить рациональное использование разноплановых статистических методов вычисления уровня адаптивности урожайности и выявить сорта ржи, сочетающие продуктивность и устойчивость в контрастных условиях.

Материалы и методы

Экспериментальная работа проведена в 2012–2017 гг. на опытных полях научно-производственной базы (НПБ) «Пушкинские и Павловские лаборатории ВИР». Материалом для изучения служили сорта 'Ильмень' (к-11000, стандарт), 'Красноярская универсальная' (к-11818), 'Берегиня' (к-11822), 'Ника 3' (к-11823), 'Новая Эра' (к-11814), 'Рушник 2' (к-11820), 'Вавиловская' (к-11819), 'Янтарная' (к-11804) озимой ржи (*Secale cereale* L. var. *vulgare* Koern.).

Почвы опытного участка дерново-подзолистые, легкосуглинистые, супесчаные, хорошо или средне окультуренные, с нейтральной или слабокислой реакцией, предшественник – пар. Образцы сеяли селекционной сеялкой из расчета 400 всхожих зерен на 1 м² в двукратной повторности в оптимальные для озимой ржи сроки. Уборка проводилась в фазу полной спелости. Фенологические наблюдения, оценки и учеты проводили в соответствии с методическими указаниями ВИР (Kobylyansky et al., 2015).

Во время полевого изучения с 2012 по 2017 г., по данным гидрометеорологического центра, наблюдалось варьирование погодных условий (рис. 1).

Благодаря оптимальным климатическим условиям, сложившимся в 2012, 2015 г. по осадкам и сумме активных температур, опытные образцы сформировали хороший урожай зерна. Значительные различия метеорологических условий по годам способствовали резкому варьированию урожайности зерна, что позволило выделить наиболее ценные генотипы ржи, приспособленные к климатическим условиям Северо-Западного региона.

Для объективной оценки сортов озимой ржи были рассчитаны и проанализированы параметры адаптивности, а именно: коэффициент интенсивности (И) и величина устойчивости индекса стабильности (У) по Р. А. Удачину, А. П. Головченко (Udachin, Golovchenko, 1990); индекс стабильности (ИС) вычисляли по В. В. Хангильдину (Hangildin, Asfondiyarova, 1977); широту ареала (Jsp) – по методике S. A. Eberhart, W. A. Russell (Eberhart, Russell, 1966); селекционную ценность (Sc) – по В. В. Хангильдину (Hangildin, 1979); коэффициент отзывчивости (Кр.) – по В. А. Зыкину (Zykin et al., 1984); генотипический эффект (Ei) – по Б. П. Гурьеву (Guryev et al., 1991), коэффициент выравненности (В) – по Б. А. Доспехову (Dospikhov, 2011); коэффициент мультипликативности (КМ) – по В. А. Драгавцеву (Dragavtsev et al., 1984); эффект реакции (Эр.) – по В. В. Новохатину (Novokhatin, 2019).

Результаты и обсуждение

Основной характеристикой достоинства сорта выступает урожайность как результат компромисса между продуктивностью и приспособленностью к меняющимся условиям возделывания. За шесть лет исследования установлено, что варьирования урожайности по годам находится в пределах от 3,3 т/га в 2013 г. до 6,6 т/га в 2015 г. Разница продуктивности по годам составила 3,3 т/га. Наиболее низкая урожайность (2,2 т/га) была выявлена у сорта 'Рушник 2' в 2013 г., высокая уро-

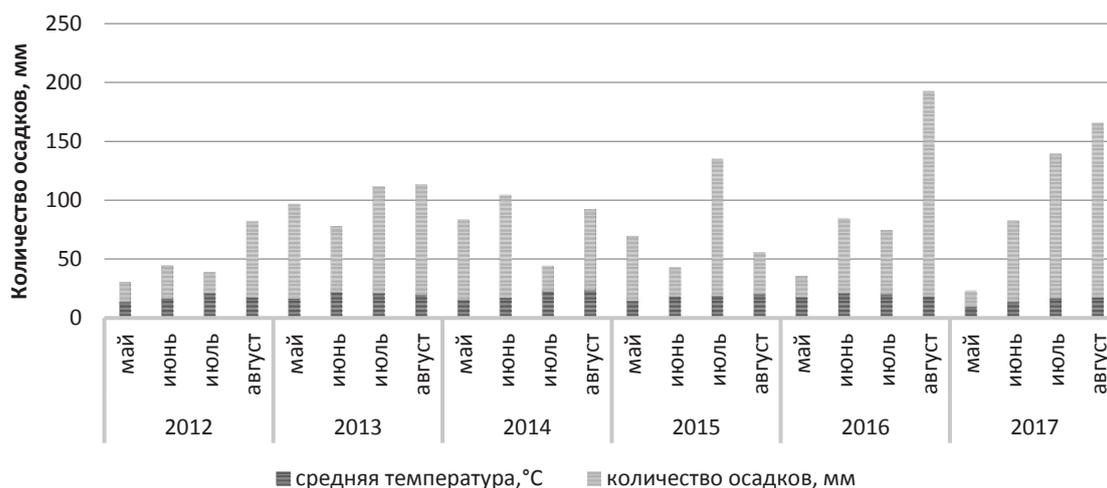


Рис. 1. Многолетние данные метеорологических условий проведения опытов (г. Пушкин, 2012–2017 гг.)

Fig. 1. Long-term data of weather conditions during the experiments (Pushkin, 2012–2017)

жайность (7,5 т/га) была получена у сорта 'Новая Эра' в 2015 г. Разница по продуктивности между образцами составила 5,3 т/га. Самая высокая средняя продуктивность за 2012–2017 гг. испытания была получена у образцов 'Новая Эра', 'Берегиня' и 'Янтарная' (5,4; 5,3 и 5,1 т/га соответственно); превышение над стандартном 'Ильмень' составило (22%, 18% и 13% соответственно). Наиболее благоприятные условия возделывания были отмечены в 2015 и 2012 г ($J_j = +1,8; +1,4$ соответственно), худшие условия – в 2013, 2016, 2014 и 2017 г. ($J_j = -1,5; -1,4; -0,2; -0,2$ соответственно) (табл. 1)

На начальном этапе, с целью расчета существенности и величины доли популяций и условий выращивания, необходимо использовать дисперсионный анализ. Выявлена достоверная значимость влияния эффектов генотипов и среды на величину «урожайность зерна» ($F_{\text{факт.}} > F_{\text{теор.}}$). При этом большое влияние на этот показатель оказывают годы изучения – 79,4%. Доля влияния факторов сорта – 7,4% (табл. 2).

Данный факт позволяет продолжить определение параметров адаптивности по исследуемому показателю для этого набора сортов. Для определения степени адап-

Таблица 1. Урожайность зерна популяций ржи (г. Пушкин, 2012–2017 гг.)

Table 1. Grain yield of the rye populations (Pushkin, 2012–2017)

Годы изучения	Сорта								Среднее по году	Jj
	А	Б	В	Г	Д	Е	Ж	З		
Благоприятные годы испытания										
2012	5,9	6,3	6,2	5,4	6,3	7,3	5,2	7,2	6,2	+1,4
2015	6,3	6,3	6,5	6,9	7,5	6,6	6,4	6,4	6,6	+1,8
Неблагоприятные годы испытания										
2013	2,8	3,0	4,5	3,0	5,4	2,2	2,6	2,9	3,3	-1,5
2014	4,3	4,6	5,1	3,3	4,8	4,2	4,7	6,0	4,6	-0,2
2016	3,3	2,5	4,1	3,4	3,5	3,1	3,7	3,2	3,4	-1,4
2017	4,3	4,2	5,2	4,2	5,1	4,3	4,5	5,0	4,6	-0,2
Средняя по сорту	4,5	4,5	5,3	4,4	5,4	4,6	4,5	5,1	4,8	-
%, к стандарту	100	100	118	98	122	105	100	113	-	-

Примечание: А – 'Ильмень'; Б – 'Красноярская универсальная'; В – 'Берегиня'; Г – 'Ника 3'; Д – 'Новая Эра'; Е – 'Рушник 2'; Ж – 'Вавиловская'; З – 'Янтарная'

Note: А – 'Ilmen'; Б – 'Krasnoyarskaya Universalnaya'; В – 'Bereginya'; Г – 'Nika 3'; Д – 'Novaya Era'; Е – 'Rushnik 2'; Ж – 'Vavilovskaya'; З – 'Yantarnaya'

Таблица 2. Изменчивость продуктивности популяций ржи (г. Пушкин, 2012–2017 гг.)**Table 2. Variability in the rye population productivity (Pushkin, 2012–2017)**

Изменчивость	F _{факт.}	F _{теор.}	Доля влияния факторов, %
Общая	–	–	–
Годы	41,8	2,5	79,4
Сорта	2,9	2,3	7,4
Остаток	–	–	–

тивного потенциала сортов в настоящее время селекционерами используется ряд методов математического анализа, позволяющих оценить этот параметр, но нужно учитывать, что большинство из них имеют преимущества и недостатки, поэтому, применяя один метод, невозможно получить полную оценку приспособительных возможностей сорта. Только при использовании серии показателей, оценка может быть достоверной и объективной.

По мнению Р. А. Удачина (Udachin, Golovchenko, 1990), коэффициент интенсивности (И) следует вычислять как отношение разности величин признака в контрастных условиях к средней его величине, выраженной в процентах. Для выявления отзывчивости подсчитывали коэффициент интенсивности (И):

$$И = \frac{X_{\text{опт}} - X_{\text{лим}}}{X_{\text{ср}}} \times 100\% \quad (1),$$

где $X_{\text{ср}}$ – среднее значение показателей урожайности;

$X_{\text{опт}}$, $X_{\text{лим}}$ – урожайность на оптимальном и неблагоприятном фонах.

Нами было выделено три типа ржи по степени интенсивности – интенсивные, полунинтенсивные, экстенсивные. К интенсивному типу по результатам нашего эксперимента относятся ‘Рушник 2’ (И = 111,0%), ‘Ника 3’ (И = 88,1%), ‘Вавиловская’ (И = 84,4%), ‘Янтарная’ (И = 84,3%). Популяции ‘Красноярская универсальная’, ‘Новая Эра’, ‘Ильмень’ относятся к типу полунинтенсивных (И = 73,8; 74,1; 77,8% соответственно). К экстенсивным относится ‘Берегиня’ (И = 45,2%) (рис. 2).

Большое значение для характеристики сортов, наряду с интенсивностью и средней урожайностью, является их стабильность. Одним из положительных способов оценки этого параметра также предложен Р. А. Удачным (Udachin, Golovchenko, 1990). В его методике она оценивается через величину устойчивости индекса стабильности (У). Индекс устойчивости стабильности определяли по формуле:

$$У = \left(1 - \frac{ИС_{\text{опт.}} - ИС_{\text{лимит}}}{ИС_{\text{ср}}}\right) \times 100\% \quad (2),$$

где У – величина устойчивости индекса стабильности;

$ИС_{\text{ср}}$ – среднее значение индекса стабильности;

$ИС_{\text{опт.}}$, $ИС_{\text{лимит}}$ – значение ИС на оптимальном и лимитированном фонах (Udachin, Golovchenko, 1990).

Индекс стабильности (Hangildin, Asfondiyarova, 1977) выявили по формуле:

$$ИС = \bar{x}^2/S \quad (3),$$

где \bar{x}^2 – средний показатель величины урожайности номера в определенных условиях;

S – квадратическое отклонение.

Проведенные исследования выявили, что к высокостабильным относятся: ‘Янтарная’, ‘Вавиловская’, ‘Новая Эра’ (У = 84,7%; 84,3% и 74,05% соответственно). В группу стабильных вошли ‘Берегиня’ (У = 45,1%) и ‘Ильмень’ (У = 22,2%), в группу нестабильных – ‘Красноярская универсальная’ (У = 13,5%), ‘Ника 3’ (У = 11,3%). Образец озимой ржи ‘Рушник 2’, имевший отрицательное значение индекса стабильности, был статистически недостоверен (табл. 3).

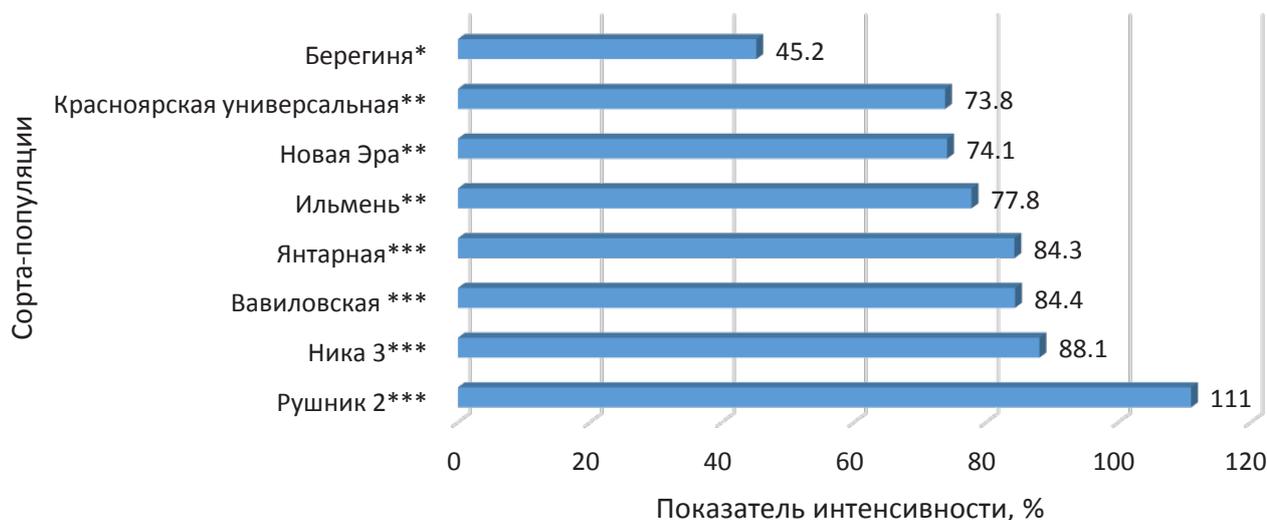


Рис. 2. Интенсивность сортов-популяций ржи озимой
(* – экстенсивные; ** – полунинтенсивные; *** – интенсивные)

Fig. 2. Intensity of winter rye cultivar populations (* – extensive; ** – semi-intensive; *** – intensive)

Таблица 3. Продуктивность и стабильность популяций ржи озимой (г. Пушкин, 2012–2017 гг.)**Table 3. Productivity and stability of the winter rye populations** (Pushkin, 2012–2017)

Параметры	Продуктивность зерна, т/га							
	1	2	3	4	5	6	7	8
\bar{x}	4,5	4,5	5,3	4,4	5,4	4,6	4,5	5,1
X min	2,8	2,5	4,1	3,0	3,5	2,2	2,6	2,9
X max	6,3	6,3	6,5	6,9	7,5	7,3	6,4	7,2
Стабильность, ИСср	3,26	2,81	5,69	2,91	3,97	2,3	3,9	2,89
ИСлим	2,03	3,93	4,41	1,98	2,57	1,12	2,25	1,64
ИСопт.	4,56	1,5	6,98	5,56	5,51	3,7	5,54	4,09
У, %	22,2	13,5	45,1	11,3	74,05	-12,2	84,3	84,7

Примечание: 1 – ‘Ильмень’; 2 – ‘Красноярская универсальная’; 3 – ‘Берегиня’; 4 – ‘Ника 3’; 5 – ‘Новая Эра’; 6 – ‘Рушник 2’; 7 – ‘Вавиловская’; 8 – ‘Янтарная’

Note: 1 – ‘Ilmen’; 2 – ‘Krasnoyarskaya Universalnaya’; 3 – ‘Bereginya’; 4 – ‘Nika 3’; 5 – ‘Novaya Era’; 6 – ‘Rushnik 2’; 7 – ‘Vavilovskaya’; 8 – ‘Yantarnaya’

Для определения пластичности и района распространения сорта периодически используют индекс экологической пластичности (J_{sp}). Данный показатель учитывает отношение урожайности сорта к средней урожайности всех сортов выборки. Район распространения рассчитывали по (Eberhart, Russell, 1966):

$$J_{sp} = \frac{S_s}{S_k} \quad (4),$$

где J_{sp} – показатель пластичности;

S_s – урожайность линий в год изучения;

S_k – средняя урожайность всех линий эксперимента.

Изучаемые сорта были разделены на 4 группы (табл. 4):

1 – образцы очень низкого района распространения: ‘Ильмень’;

2 – образцы низкого района выращивания: ‘Красноярская универсальная’, ‘Ника 3’, ‘Рушник 2’, ‘Вавиловская’;

3 – образцы среднего района использования: ‘Янтарная’;

4 – образцы высокого района применения: ‘Новая Эра’, ‘Берегиня’.

Одним из первостатейных параметров в оценке сорта является его селекционная ценность (S_c). Селекционную ценность образцов (Hangildin, 1979) вычисляли по формуле:

$$S_c = \bar{x} \times \frac{x_{lim}}{x_{opt}} \quad (5),$$

где S_c – селекционная ценность;

\bar{x} – средняя урожайность сорта;

x_{lim} и x_{opt} – урожайность на лимитированном и оптимальном фоне.

Лучшими для возделывания в Северо-Западном регионе РФ по результатам наших исследований данного признака являются сорта ржи: ‘Ильмень’, ‘Янтарная’, ‘Новая Эра’, ‘Берегиня’ ($S_c = 2,0; 2,05; 2,52; 3,3$ соответственно) (табл. 5).

При выявлении адаптивной способности сортов часто применяют коэффициент отзывчивости к благоприятным условиям возделывания. Коэффициент отзывчи-

вости (Кр.) на условия выращивания, определяли следующим образом:

$$K_p = \frac{X_{max}}{X_{min}} \quad (6),$$

где X_{max} – урожай в лучших условиях;

X_{min} – урожай в неблагоприятных условиях (Zykin et al., 1984).

В нашем опыте величина этого коэффициента варьировала в пределах от 1,6 у сорта ‘Берегиня’, до 3,3 у ‘Рушник 2’. Следует отметить, что наибольшим значением коэффициента отзывчивости к благоприятным условиям возделывания характеризовались ‘Рушник 2’, ‘Красноярская универсальная’, ‘Вавиловская’, ‘Янтарная’ ($K_p = 3,3; 2,5; 2,5; 2,5$ соответственно).

Анализ показателей генотипического эффекта определяли по формуле:

$$\epsilon_i = \bar{x}_i - \bar{x} \quad (7),$$

где \bar{x}_i – средняя урожайность популяций по годам испытания;

\bar{x} – средняя урожайность по опыту (Guryev et al., 1991).

Высоким генотипическим эффектом обладают: ‘Новая Эра’, ‘Берегиня’, ‘Янтарная’ ($\epsilon_i = +0,6...+0,3$), низким – ‘Рушник 2’, ‘Ильмень’, ‘Красноярская универсальная’, ‘Вавиловская’, ‘Ника 3’ ($\epsilon_i = -0,2...-0,4$).

В виде меры относительной стабильности сорта возможно использовать показатель коэффициента выравнивания:

$$B = 100 - V \quad (8),$$

где B – коэффициент выравнивания;

V – коэффициент вариации признака (Dospikhov, 2011).

Анализ результатов испытания показал, что высокий уровень стабильности присущ сортам ‘Берегиня’, ‘Новая Эра’, ‘Янтарная’, ‘Ильмень’ ($B = 82,4; 74,8; 70,5; 69,2\%$ соответственно). Низкий уровень стабильности урожая отмечен у сортов ‘Рушник 2’, ‘Вавиловская’, ‘Красноярская универсальная’, ‘Ника 3’ ($B = 57,1; 60,8; 64,1; 65,6\%$).

Таблица 4. Индекс экологической пластичности и широта области возделывания популяций ржи озимой
(г. Пушкин, 2012–2017 гг.)

Table 4. The index of environmental plasticity and the breadth of the area of cultivation of the winter rye populations
(Pushkin, 2012–2017)

Индекс экологической пластичности (Jsp)	Сорта							
	1	2	3	4	5	6	7	8
2012	0,95	1,02	1,0	0,87	1,02	1,18	0,84	1,16
2013	0,85	0,91	1,36	0,91	1,64	0,67	0,79	0,88
2014	0,93	1,0	1,11	0,72	1,04	0,91	1,02	1,3
2015	0,95	0,95	0,98	1,04	1,14	1,0	0,97	0,97
2016	0,97	0,74	1,21	1,0	1,03	0,91	1,09	0,94
2017	0,91	0,91	1,13	0,91	1,11	0,93	0,98	1,09
Среднее	0,94	0,94	1,10	0,92	1,12	0,96	0,94	1,06
Широта области возделывания	ОУ	У	Ш	У	Ш	У	У	С

Примечание: 1 – ‘Ильмень’; 2 – ‘Янтарная’; 3 – ‘Вавиловская’; 4 – ‘Ника 3’; 5 – ‘Новая Эра’; 6 – ‘Рушник 2’; 7 – ‘Берегиня’; 8 – ‘Красноярская универсальная’

Note: 1 – ‘Ilmen’; 2 – ‘Yantarnaya’; 3 – ‘Vavilovskaya’; 4 – ‘Nika 3’; 5 – ‘Novaya Era’; 6 – ‘Rushnik 2’; 7 – ‘Bereginya’; 8 – ‘Krasnoyarskaya Universalnaya’

Таблица 5. Показатели адаптивной способности популяций ржи (г. Пушкин, 2012–2017 гг.)

Table 5. Adaptability indicators of the rye populations (Pushkin, 2012–2017)

Сорта	Показатели параметров адаптивности					
	Sc	Kp.	xi	B, %	KM	Эр.
Ильмень	2,0	2,2	–0,3	69,2	2,01	0
Янтарная	2,05	2,5	+0,3	70,5	2,04	+0,2
Вавиловская	1,82	2,5	–0,3	60,8	1,9	+0,2
Ника 3	1,91	2,3	–0,4	65,6	2,01	–0,1
Новая Эра	2,52	2,1	+0,6	74,8	1,84	+0,3
Рушник 2	1,38	3,3	–0,2	57,1	2,4	+0,2
Берегиня	3,3	1,6	+0,5	82,4	1,6	–0,1
Красноярская универсальная	1,8	2,5	–0,3	64,4	2,16	+0,1

Примечание: Sc – селекционная ценность; Kp. – коэффициент отзывчивости; xi – генотипический эффект; B – коэффициент выравнивания (%); KM – коэффициент мультипликативности; Эр. – эффект реакции сортов на условия среды

Note: Sc – breeding value; Kp. – responsiveness coefficient; xi – genotypic effect; B – equalization coefficient (%); KM – multiplicativity coefficient; Эр. – effect of a cultivar’s reaction to environmental conditions

Как справедливо отмечает В. А. Драгавцев (Dragavtsev et al., 1984), для определения адаптивности сорта часто используют коэффициент мультипликативности (KM), который позволяет сравнить устойчивость показателя:

$$KM = \frac{Y_i + b_i x_i}{\bar{Y}_i} \quad (9),$$

где KM – коэффициент мультипликативности;
Y_i – средняя урожайность по годам исследования;

b_i – коэффициент линейной регрессии;
x_i – среднее значение признака в опыте (Dragavtsev et al., 1984). Чем он выше, тем больше отзывчивость сорта на улучшение условий выращивания.

В этом случае сортам ‘Берегиня’ (1,6), ‘Новая Эра’ (1,84), ‘Вавиловская’ (1,9) свойственна слабая, а сортам ‘Ильмень’ (2,01), ‘Ника 3’ (2,01), ‘Янтарная’ (2,04) – средняя отзывчивость на благоприятные условия возделывания. У сортов ‘Рушник 2’ (2,4), ‘Красноярская универсальная’ (2,16) отмечена высокая отзывчивость.

В. В. Новохатин (Novokhatin, 2019) ввел показатель эффекта реакции сортов на условия среды (Эр.):

$$\text{Эр.} = (A_i - \bar{A}_{fi}) - J_i \quad (10),$$

где A_i – величина используемого признака сорта в год изучения;

\bar{A}_{fi} – средняя величина признака в опыте за годы изучения;

J_i – индекс условий среды.

Показатель эффекта реакции сортов определяется разницей между величиной признака сорта в год изучения (A_i), средней величиной признака в опыте за годы изучения (\bar{A}_{fi}) и величиной индекса условий (J_i). Автором установлено, что чем больше степень величины эффекта реакции отдельного сорта, тем сильнее реакция сорта на изменяющиеся условия среды, чем оно ниже, тем хуже реагирует сорт на изменение условий среды. Отрицательные значения характеризуют образцы ржи с низкой адаптационной способностью. Результаты нашего изучения показали, что высокий уровень эффекта реакции наблюдается у ржи 'Новая Эра', 'Рушник 2', 'Вавиловская', 'Янтарная' и 'Красноярская универсальная' (Эр. = +0,3; +0,2; +0,2; +0,2; +0,1 соответственно).

Многочисленными опытами отмечено, что расчет адаптивной способности сортов небольшим количеством методов математического анализа не дает достоверной оценки сортов. Чем меньше сумма рангов изучаемого сорта, тем он имеет большую хозяйственную ценность (рис. 3). Анализ ранжированной оценки сортов по параметрам пластичности, стабильности по сумме рангов позволил выделить сорта, обладающие высокой степенью адаптации в условиях Северо-Западного региона. К таковым можно отнести сорта 'Янтарная', 'Новая Эра', 'Берегиня', 'Вавиловская' (рис. 3).

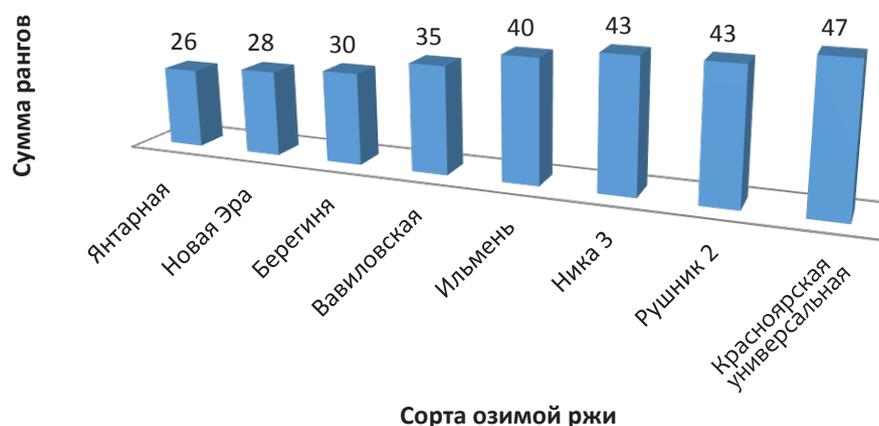


Рис. 3. Распределение популяций ржи озимой по меньшей сумме рангов параметров адаптивности

Fig. 3. Distribution of winter rye populations according to a smaller sum of ranks of adaptability parameters

Озимая рожь является одной из важнейших культур в Российской Федерации. В связи с этим повышение уровня ее урожайности имеет важнейшее значение для продовольственной безопасности государства. Поэтому на первый план выдвигается изучение адаптивного потенциала сортов, к которому относятся стабильность, гомеостатичность и пластичность. Стабильность – способность сорта сохранять относительное постоянство признаков при изменении условий среды. Гомеостатичность – способность растений слабо реагировать на ухуд-

шение их выращивания. Пластичность – это реакция сорта на различные условия возделывания.

На практике для выявления этих свойств проводятся исследования, рассредоточенные во времени (в одном пункте в течение ряда лет) или пространстве (в нескольких пунктах) при использовании разных методов оценки параметров пластичности, стабильности и гомеостатичности. К сожалению, эти вопросы в условиях Северо-Западного региона РФ исследованы недостаточно.

Изученные популяции озимой ржи были оценены на экологическую пластичность, адаптивность и стабильность, и выделены сорта озимой ржи селекции ВИР с высоким уровнем урожайности, которые могут быть использованы в качестве исходного материала для селекции.

Заключение

С целью выявления адаптивных возможностей сортов рекомендуется использовать следующие показатели:

а) Коэффициент мультипликативности (КМ) по В. А. Драгавцеву (Dragavtsev et al., 1984). Этот параметр позволяет избежать линейного артефакта коэффициента регрессии – чем он выше, тем сильнее изменяется урожайность в различных условиях. Являясь безразмерной величиной, он позволяет сравнивать изменчивость признаков.

б) Величина устойчивости индекса стабильности (У) по Р. А. Удачину, А. П. Головченко (Udachin, Golovchenko, 1990). Для его определения используется уровень стабильности сорта в благоприятных, неблагоприятных и средних условиях среды. Чем этот показатель больше, тем стабильнее сорт.

в) Индекс стабильности (ИС) по В. В. Хангильдину (Hangildin, Asfondiyarova, 1977). Он характеризует отзывчивость образца на ухудшение условий возделывания и способность удерживать довольно высокий уровень стабильности.

г) Показатель гомеостатичности (Ном). Он выявляет стойкость сортов на действие отрицательных условий среды – гомеостаз, который представляет собой способность сорта понизить результат влияния воздействия неблагоприятных условий среды.

д) Величина эффекта реакции сортов на условия среды (ЭР) по В. В. Новохатину (Novokhatin, 2019). Этот показатель выявляется разницей между величиной признака в год изучения и средней величиной за годы испытания, а также величиной индекса среды. Чем ниже степень эффекта реакции, тем хуже сорт реагирует на изменение условий среды. Отрицательные значения характеризуют образцы с низкой адаптационной способностью.

е) Индекс экологической пластичности (JSP) по S. A. Eberhart, W. A. Russell (1966) позволяет выделить сорта с широким районом возделывания и определить сорта, которые будут иметь большую площадь выращивания.

В результате комплексной оценки сортами, способными формировать высокий уровень урожайности и наиболее адаптивными в условиях Северо-Западного региона РФ, являются сорта озимой ржи, созданные в ВИР – ‘Янтарная’ (к-11804; $\Sigma r = 26$); ‘Новая Эра’ (к-11814; $\Sigma r = 28$); ‘Берегиня’ (к-11822; $\Sigma r = 30$); ‘Вавилонская’ (к-11819; $\Sigma r = 35$) (см. рис. 3).

References / Литература

- Aniskov N.I., Safonova I.V. Productivity and adaptability of winter rye varieties of VIR breeding in the conditions of the North-Western region (Produktivnost i adaptivnost sortov ozimoy rzhi selektsii VIR v usloviyakh Severo-Zapadnogo regiona). *Tendentsii razvitiya nauki i obrazovaniya = Trends in the Development of Science and Education*. 2020;(58-3):5-9. [in Russian] [Аниськов Н.И., Сафонова И.В. Продуктивность и адаптивность сортов озимой ржи селекции ВИР в условиях Северо-Западного региона. *Тенденции развития науки и образования*. 2020;(58-3):5-9]. DOI: 10.18411/lj-02-2020-38
- Dospikhov V.A. Methodology of field trial (Metodika polevogo opyta). 6th ed. Moscow: Alyans; 2011. [in Russian] [Доспихов В.А. Методика полевого опыта. 6-е изд. Москва: Альянс; 2011].
- Dragavtsev V.A., Zilke V.A., Reyter B.G. Genetics of productivity traits in spring wheat in Western Siberia (Genetika priznakov produktivnosti yarovoy pshenitsy v Zapadnoy Sibiri). Novosibirsk: Nauka; 1984. [in Russian] [Драгавцев В.А., Цильке В.А., Рейтер Б.Г. Генетика признаков продуктивности яровой пшеницы в Западной Сибири. Новосибирск: Наука; 1984].
- Eberhart S.A., Russell W.A. Stability parameters for comparing varieties. *Crop Science*. 1966;6(1):36-40. DOI: 10.2135/cropsci1966.0011183X000600010011x
- Goncharenko A.A. Topical issues of winter rye breeding (Aktualnye voprosy selektsii ozimoy rzhi). Moscow; 2014. [in Russian] [Гончаренко А.А. Актуальные вопросы селекции озимой ржи. Москва; 2014].
- Hangildin V.V. Homeostasis of grain harvest components and prerequisites for creating a model of a spring wheat variety (Gomeostaz komponentov urozhaya zerna i predposylki k sozdaniyu modeli sorta yarovoy pshenitsy). In: *Genetic Analysis of Quantitative Plant Characteristics (Geneticheskiy analiz kolichestvennykh priznakov rasteniy)*. Ufa: BF ANSSSR; 1979. p.5-39. [in Russian] [Хангильдин В.В. Гомеостаз компонентов урожая зерна и предпосылки к созданию модели сорта яровой пшеницы. В кн.: *Генетический анализ количественных признаков растений*. Уфа: БФ АН СССР; 1979. с.5-39].
- Hangildin V.V., Asfondiyarova R.R. Manifestation of homeostasis in pea hybrids (Proyavleniye gomeostaza u gibridov gorokha posevnogo). *Biologicheskkiye nauki = Biological Sciences*. 1977;(1):116-121. [in Russian] [Хангильдин В.В., Асфондиярова Р.Р. Проявление гомеостаза у гибридов гороха посевного. *Биологические науки*. 1977;(1):116-121].
- Kobylyansky V.D., Safonova I.V., Solodukhina O.V., Aniskov N.I. Guidelines for the study and preservation of the world collection of rye (Metodicheskiye ukazaniya po izucheniyu i sokhraneniuyu mirovoy kollektsii rzhi). St. Petersburg: VIR; 2015. [in Russian] [Кобылянский В.Д., Сафонова И.В., Солодухина О.В., Аниськов Н.И. Методические указания по изучению и сохранению мировой коллекции ржи. Санкт-Петербург: ВИР; 2015].
- Novokhatin V.V. Ecological selection of soft spring wheat. In: *Optimization of the breeding process as a factor of stabilization and growth of crop production in Siberia OSP – 2019 (Optimizatsiya selektsionnogo protsesssa – faktor stabilizatsii i rosta produktivnosti rasteniyevodstva Sibiri OSP – 2019)*. Krasnoyarsk; 2019. p.92-101. [in Russian] [Новохатин В.В. Экологическая селекция мягкой яровой пшеницы, оптимизация селекционного процесса – фактор стабилизации и роста продукции растениеводства Сибири. В кн.: *Оптимизация селекционного процесса – фактор стабилизации и роста продукции растениеводства Сибири OSP – 2019*. Красноярск; 2019. С.92-101]. URL: <https://ksc.krasn.ru/upload/medialibrary/0b9/0b94c6cee3826ba952f4edfd6be23c98.pdf> [дата обращения: 15.11.2022].
- Rye cropping areas, bulk harvests, and yield in Russia. Tallies for 2018 (Posevnye ploshchadi, valovye sbory i urozhaynost rzhi v Rossii. Itogi 2018 goda). *Agrovestnik*. 2019. [in Russian] [Посевные площади, валовые сборы и урожайность ржи в России. Итоги 2018 года. *Агровестник*. 2019]. URL: <https://agrovesti.net/lib/industries/cereals/posevnye-ploshchadi-valovye-sbory-i-urozhajnost-rzhi-v-rossii-itogi-2018-goda.html> [дата обращения: 03.04.2020].
- Shakirzyanov A.H., Leschenko N.I., Myzgaeva V.A., Kolesnikova N.V. Adaptation of grades winter rye of selection the Bashkir Scientifically Research Institute of an Agriculture. *Achievements of Science and Technology of AIC*. 2010;(1):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):11-12].
- Udachin R.A., Golovchenko A.P. Methods for assessing the ecological plasticity of wheat varieties (Metodika otsenki ekologicheskoy plastichnosti sortov pshenitsy). *Selektsiya i semenovodstvo = Plant Breeding and Seed Production*. 1990;(5):2-6. [in Russian] [Удачин Р.А., Головченко А.П. Методика оценки экологической пластичности сортов пшеницы. *Селекция и семеноводство*. 1990;(5):2-6].
- Utkina E.I., Kedrova L.I. Winter hardiness in winter rye: problems and solutions. *Agricultural Science Euro-North-East*. 2018;1(62):11-18. [in Russian] [Уткина Е.И., Кедрова Л.И. Зимостойкость озимой ржи: проблемы и решения. *Аграрная наука Евро-Северо-Востока*. 2018;1(62):11-18]. DOI: 10.30766/2072-9081.2018.62.1.11-18
- Zykin V.A., Meshkov V.V., Saepa V.A. Parameters of environmental plasticity in crop plants, their calculation and analysis: guidelines (Parametry ekologicheskoy plastichnosti selskohozyaystvennykh rasteniy, ikh raschet i analiz: metodicheskiye rekomendatsii). Novosibirsk: Siberian Branch of VASKhNIL; 1984. [in Russian] [Зыкин В.А., Мешков В.В., Сапега В.В. Параметры экологической пластичности сельскохозяйственных растений, их расчет и анализ: методические рекомендации. Новосибирск: Сибирское отделение ВАСХНИЛ; 1984].

Информация об авторах

Ирина Владимировна Сафонова, кандидат сельскохозяйственных наук, старший научный сотрудник, Федеральный исследовательский центр Всероссийский институт генетических ресурсов растений имени Н.И. Вавилова, 190000 Россия, Санкт-Петербург, ул. Б. Морская, 42, 44, i.safonova@vir.nw.ru, <https://orcid.org/0000-0001-8138-930X>

Николай Иванович Аниськов, доктор сельскохозяйственных наук, старший научный сотрудник, Федеральный исследовательский центр Всероссийский институт генетических ресурсов растений имени Н.И. Вавилова, 190000 Россия, Санкт-Петербург, ул. Б. Морская, 42, 44, n.aniskov@vir.nw.ru, <https://orcid.org/0000-0002-7819-8286>

Information about the authors

Irina V. Safonova, Cand. Sci. (Agriculture), Senior Researcher, N.I Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources, 42, 44 Bolshaya Morskaya Street, St. Petersburg 190000, Russia, i.safonova@vir.nw.ru, <https://orcid.org/0000-0001-8138-930X>

Nikolay I. Aniskov, Dr. Sci. (Agriculture), Senior Researcher, N.I Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources, 42, 44 Bolshaya Morskaya Street, St. Petersburg 190000, Russia, n.aniskov@vir.nw.ru, <https://orcid.org/0000-0002-7819-8286>

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 22.03.2021; одобрена после рецензирования 25.03.2022; принята к публикации 01.06.2023.
The article was submitted on 22.03.2021; approved after reviewing on 25.03.2022; accepted for publication on 01.06.2023.