

КОМПЛЕКСНАЯ ОЦЕНКА АДАПТИВНОСТИ, СТАБИЛЬНОСТИ И СТРЕССОУСТОЙЧИВОСТИ ПО УРОЖАЙНОСТИ СОРТОВ ОЗИМОЙ РЖИ В УСЛОВИЯХ ЗАПАДНОЙ СИБИРИ

Н.Н. Ермошкина, научный сотрудник

Г.В. Артемова, кандидат биологических наук

П.И. Степочкин, доктор сельскохозяйственных наук

А.А. Саламатина, аспирант

Сибирский научно-исследовательский институт растениеводства и селекции – филиал Института цитологии и генетики Сибирского отделения РАН, р.п. Краснообск Новосибирской обл., Россия

E-mail: natali.erm@bk.ru

Ключевые слова: озимая рожь, сорт, урожайность, адаптивность, пластичность, стабильность, стрессоустойчивость.

Реферат. В настоящее время особое значение в селекционном процессе приобретает адаптивность и стабильность исследуемого признака, т.е. способность сорта поддерживать оптимальный уровень признака в различных почвенно-климатических условиях. Проведено исследование с целью комплексного изучения параметров адаптивности, стабильности и стрессоустойчивости по урожайности сортов диплоидной озимой ржи разного эколого-географического происхождения в условиях Западной Сибири. Экспериментальная часть исследования выполнялась в течение 2019–2021 гг. на опытном участке СибНИИРС – филиал Института цитологии и генетики СО РАН, расположенном в Западно-Сибирском регионе. Материалом для проведения исследований служили: 6 сортов озимой ржи из ФИЦ «Всероссийский институт генетических ресурсов растений имени Н.И. Вавилова» (Короткостебельная 69, Сибирская 87, Чулпан, Памяти Кунакбаева, Синильга, Алиса) и 8 сортов из РУП «НПЦ НАН Беларуси по земледелию» (Лота, Калинка, Голубка, Восток, Вердена, Талисман, Зубровка, Юбилейная). По результатам двухфакторного дисперсионного анализа влияние на урожайность оказывали генотипические различия между сортами – 77,34 % ($P < 0,05$) и сложившиеся условия выращивания в разные годы исследований – 11,98 % ($P < 0,05$). Урожайностью на уровне и выше стандарта Короткостебельная 69 (650 г/м²) характеризовались сорта: Сибирская 87 (689,0 г/м²) и Юбилейная (706,0 г/м²). В результате комплексной оценки с помощью ранжирования на адаптивность, стабильность и стрессоустойчивость выделены сорта озимой ржи: Юбилейная (102), Короткостебельная 69 (97), Сибирская 87 (87), Зубровка (79), Алиса (77), Талисман (74). Выделенные сорта способны давать относительно высокую урожайность в контрастных условиях Западной Сибири.

COMPREHENSIVE ASSESSMENT OF ADAPTABILITY, STABILITY AND STRESS RESISTANCE OF DIPLOID WINTER RYE VARIETIES UNDER CONDITIONS OF WESTERN SIBERIA

N.N. Ermoshkina, researcher

G.V. Artyomova, Candidate of Biology Sciences

P.I. Stepochkin, Doctor of Agricultural Sciences

A.A. Salamatina, PhD-student

Siberian Research Institute of Plant Production and Breeding – a branch of the Institute of Cytology and Genetics of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Novosibirsk Region, b. pos. Krasnoobsk, Russia

E-mail: natali.erm@bk.ru

Keywords: winter rye, variety, yield productivity, adaptability, plasticity, stability, stress resistance.

Abstract. Currently, the adaptability and stability of the trait under study, i.e., the ability of a variety to maintain the optimal level of the trait in different soil and climatic conditions, is of particular importance in the breeding process. A research was conducted to comprehensively study the parameters of adaptability, stability and stress resistance in terms of yield of diploid winter rye varieties of different ecological and geographical origins in the conditions of Western Siberia. The experimental part of the study was carried out during 2019–2021, at the

experimental site of SibNIIRS - a branch of the ICG SB RAS, located in the West Siberian region. The material for the research was: 6 varieties of winter rye from of the FRC «N.I. Vavilov All-Russian Research Institute of Plant Genetic Resources» (Korotkostebel'naya 69, Sibirskaya 87, Chulpan, Pamyati Kunakbaeva, Sinilga, Alisa) and 8 varieties from the Republican unitary enterprise «Research and Practical Center of National Academy of Sciences of the Republic of Belarus for Arable Farming» (Lota, Kalinka, Golubka, Vostok, Verdun, Talisman, Zubrovka, Yubileynaya). According to the results of two-factor analysis of variance, the yield was influenced by genotypic differences between varieties - 77.34% ($P < 0.05$) and the prevailing growing conditions in different years of research - 11.98% ($P < 0.05$). The varieties Sibirskaya 87 (689.0 g/m²) and Yubileynaya (706.0 g/m²) were characterized by productivity at the level or higher than the standard Korotkostebel'naya 69 (650 g/m²). As a result of a comprehensive assessment using ranking for adaptability, stability and stress resistance, the following winter rye varieties were identified: Yubileynaya (102), Korotkostebel'naya 69 (97), Sibirskaya 87 (87), Zubrovka (79), Alisa (77), Talisman (74). The selected varieties are capable of producing relatively high yields in the contrasting conditions of Western Siberia.

Озимая рожь (*Secale cereale* L.) традиционно относится к числу важнейших сельскохозяйственных культур, поскольку она обладает уникальными пищевыми и кормовыми качествами. В то же время эта культура имеет самый высокий страховой потенциал благодаря устойчивости к комплексу неблагоприятных факторов окружающей среды и относительно низким прямым затратам [1–4].

В условиях резко континентального климата Западной Сибири эффективно использовать адаптированные сорта озимой ржи, имеющие высокий показатель урожайности. Увеличение потенциала урожайности озимой ржи является одним из важнейших направлений селекционных программ, определяющихся генотипом, окружающей средой и эффектами их взаимодействия [5]. Вместе с тем потенциальные возможности сорта по урожайности могут полностью реализоваться только в том случае, если условия выращивания соответствуют его биологическим требованиям при изменяющихся условиях выращивания. Многочисленными исследованиями различных отечественных и зарубежных ученых было установлено, что один и тот же признак у сорта в различных экологических условиях проявляется по-разному [6–8]. Поэтому для повышения урожайности генетически разнообразных сортов озимой ржи и их стабильности в производственных условиях необходим правильный выбор сорта, характеризующегося экологической устойчивостью и способного максимально адаптироваться к конкретным природно-климатическим условиям того или иного региона, в частности к условиям Западной Сибири [9–13]. В связи с этим необходимо комплексное изучение сортов озимой ржи

по параметрам адаптивности, стабильности и стрессоустойчивости для дальнейшего создания высокоурожайных сортов озимой ржи с повышенным уровнем адаптивности к стрессовым условиям [14, 15]. Таким образом, устойчивые к климатическим условиям генотипы ржи более эффективно и оптимально будут реализовываться в селекционных программах.

Цель исследования – комплексная оценка параметров адаптивности, стабильности и стрессоустойчивости по урожайности сортов диплоидной озимой ржи разного эколого-географического происхождения в условиях Западной Сибири.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Экспериментальная часть работы по оценке продуктивности и адаптивности коллекционных образцов диплоидной озимой ржи проводилась с 2019 по 2021 г. на опытных полях Сибирского НИИ растениеводства и селекции – филиала Института цитологии и генетики СО РАН. Опытное поле расположено в Новосибирском районе Новосибирской области на левом берегу реки Обь и в 25 км юго-западнее города Новосибирск в лесостепной зоне Приобья. Почвенный покров опытного участка представлен черноземом выщелоченным среднесуглинистым, реакция среды в пахотном слое слабокислая (pH 6,7), в карбонатных горизонтах – щелочная (pH 7,9). Содержание гумуса составляет 4,2 %, валового фосфора – 0,30 %, общего азота – 0,34 %, подвижного фосфора и калия (по Чирикову) – соответственно 29 и 13 мг/100 г почвы. Глубина пахотного слоя 41–46 см [16].

Климат в зоне проведения исследования резко континентальный. Распределение осадков на территории данной природно-климатической зоны носит неустойчивый и неравномерный характер. Отличительные особенности этой зоны: часто короткая и сухая весна с постоянно возвращающимися холодами, жаркое лето с неравномерными выпадающими осадками [17].

В годы исследования значительно различались условия тепло- и влагообеспеченности вегетационного периода, что оказало существенное влияние на урожайность зерна коллекционных образцов озимой ржи. Для характеристики метеорологических условий использованы данные ГМОС «Огурцово». В годы исследования с мая по июль был рассчитан гидротермический коэффициент Г.Т. Селянинова ($ГТК = \text{сумма осадков} / 0,1 \times \text{сумма эффективных температур} > 10^\circ\text{C}$) по шкале Г.В. Хомякова и Е.К. Зоидзе [18, 19].

Условия в 2019 и 2020 гг. характеризовались оптимальным увлажнением ($ГТК$ май-июль – 1,03 и 1,24 соответственно). Однако распределение осадков было неравномерным: в мае обеспеченность растений влагой была близкой к оптимальной и на уровне оптимальной ($ГТК$ – 0,94 и 1,19), в июне – очень низкой ($ГТК$ – 0,51 и 0,50), а в июле – избыточной ($ГТК$ – 1,65 и 2,02). Малоблагоприятным являлся 2021 г., так как весенне-летний период характеризовался недостаточным увлажнением ($ГТК$ май-июль – 0,88), что было связано с сильно засушливыми условиями в мае и июле ($ГТК$ – 0,57 и 0,57 соответственно), несмотря на обильные осадки в июне ($ГТК$ – 1,51). Отмеченные в разные годы изменения метеорологических условий отражают важную климатическую особенность региона: абсолютную нестабильность по увлажнению и температурному фактору.

Посев проведен в начале первой декады сентября ручным способом. Агротехника проведения опыта общепринятая для Западно-Сибирского региона. Площадь делянки коллекционного питомника – 1 м^2 , повторность трехкратная, норма высева 300 зерен/ м^2 или 3 млн всхожих зерен на гектар. Уборку растений проводили ручным способом.

Материалом для проведения исследований служили сорта диплоидной озимой ржи различного эколого-географического происхождения: 6

сортов российской селекции ФИЦ «Всероссийский институт генетических ресурсов растений имени Н.И. Вавилова» (Короткостебельная 69, Сибирская 87, Чулпан, Памяти Кунакбаева, Синильга, Алиса) и 8 сортов белорусской селекции РУП «НПЦ НАН Беларуси по земледелию» (Лота, Калинка, Голубка, Восток, Вердена, Талисман, Зубровка, Юбилейная). В качестве стандарта высевался районированный сорт Короткостебельная 69.

Оценку урожайности осуществляли в соответствии с методическими указаниями по изучению мировой коллекции ржи и методикой государственного сортоиспытания сельскохозяйственных культур [20, 21]. Дисперсионный анализ и ранжирование объектов по совокупности признаков проведены с помощью прикладной программы Snedecor V5. Критический уровень значимости 5 %.

Исследования на экологическую адаптивность проводились методом оценки урожайности сортов озимой ржи по параметрам: значение средней урожайности X и коэффициента вариации CV – по Б.А. Доспехову [22]; индекса условий среды I_j , пластичности bi и стабильности σ^2 – по S.A. Eberhart и W.A. Russell в изложении В.А. Зыкина [23, 24]; селекционную ценность Sc и гомеостатичность Hom – по В.В. Хангильдину в изложении Л.И. Лихачевой и А.В. Москалева [25–27], уровень стрессоустойчивости C и генетической гибкости KC – по А.А. Rosielle, J. Hamblin в изложении А.А. Гончаренко [28, 29]; коэффициент адаптивности KA – по Л.А. Животкову [30], коэффициент мультипликативности KM – по В.А. Драгавцеву [31], индекс экологической пластичности $ИЭС$ – по А.А. Грязнову [32].

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

С помощью двухфакторного дисперсионного анализа установлено, что наибольший вклад в изменчивость урожайности обеспечивается генотипическими различиями между сортообразцами, доля влияния которых составила 77,34 % ($P < 0,05$). При этом доля влияния на изменчивость признака условий, сложившихся в разные годы исследований, составила 11,98 % ($P < 0,05$). Это свидетельствует о том, что из-

менчивость признака урожайности обусловлена не только генетической природой, но и условиями выращивания. Используя показатели индекса среды I_j по годам для сортов озимой ржи, можно характеризовать худшие или лучшие условия. В 2019 и 2020 гг. индекс среды имел положительные значения ($I_j = +7,61$ и $I_j = +45,38$ соответственно), что свидетельствует о достаточно благоприятных условиях возделывания. Это подтверждается показателями урожайности ($572,59 \text{ г/м}^2$ и $610,36 \text{ г/м}^2$). Отрицательное значение $I_j = -52,99$ в 2021 г. указывают на неблагоприятный гидротерми-

ческий режим для формирования урожая зерна ржи $511,99 \text{ г/м}^2$.

Средняя урожайность изученных генотипов ржи составила $565,0 \text{ г/м}^2$ (табл. 1) с размахом варьирования от $332,5 \text{ г/м}^2$ (Восток) до $760,0 \text{ г/м}^2$ (Юбилейная). Наибольшей урожайностью на уровне и выше стандарта Короткостебельная 69 (650 г/м^2) характеризовались сорта: Сибирская 87 ($689,0 \text{ г/м}^2$) и Юбилейная ($706,0 \text{ г/м}^2$). Превышение урожайности по отношению к стандарту Короткостебельная 69 составило у сорта Юбилейная $+46,1 \text{ г/м}^2$ и у сорта Сибирская 87 $+29,1 \text{ г/м}^2$.

Таблица 1

Показатели урожайности и гомеостатичности сортов озимой ржи, 2019–2021 гг.
Yield and homeostatic indicators of winter rye varieties, 2019–2021

Сорт	$Y_{\min}$	$Y_{\max}$	Средняя урожайность, г/м^2	CV , %	Ном
Короткостебельная 69 (st)	633,5	680,8	659,9	3,7	180,6
Сибирская 87	650,3	742,2	689,0	6,9	99,7
Чулпан	550,9	699,4	614,0	12,5	49,1
Памяти Кунакбаева	502,7	698,0	601,1	16,2	37,0
Синильга	460,0	539,8	512,6	8,9	57,7
Алиса	527,0	708,4	631,2	14,8	42,5
Лота	334,3	458,7	505,9	15,8	25,7
Калинка	474,8	543,4	404,8	6,9	73,7
Голубка	385,2	431,7	411,9	5,8	70,6
Восток	332,5	452,7	383,5	16,2	23,7
Вердена	466,0	590,9	541,8	12,3	44,1
Талисман	501,8	710,5	614,5	17,1	35,8
Зубровка	542,9	721,5	633,6	14,1	44,9
Юбилейная	653,5	760,0	706,0	7,5	93,6

Примечание. st – стандартный сорт; $Y_{\min}$ – минимальная урожайность, г/м^2 ; $Y_{\max}$ – максимальная урожайность, г/м^2 ; CV – коэффициента вариации, %; Ном – гомеостатичность.

Note. st – standard variety; $Y_{\min}$ – minimum yield, g/m^2 ; $Y_{\max}$ – maximum yield, g/m^2 ; CV , % – coefficient of variation, %; Ном – homeostatic.

Коэффициент вариации CV является самым простым показателем, который выявляет реакцию растений на неблагоприятные условия окружающей среды. У всех сортообразцов ржи в опыте отмечен низкий и средний коэффициент вариации по урожайности в пределах от 3,7 до 17,1 %. Наименьшие значения CV отмечены у сортов сибирской селекции Короткостебельная 69, Сибирская 87, Синильга, а также у сортов белорусской селекции Калинка, Голубка, Юби-

лейная ($V = 5,8\text{--}7,5\%$), что говорит о более высокой их стабильности и однородности.

Способность растений формировать урожай при неблагоприятных условиях среды называется гомеостатичностью. Сорта с высокой гомеостатичностью по В.В. Хангильдину (Ном) могут сводить к минимуму негативные воздействия окружающей среды. Чем выше значение Ном, тем более гомеостатичен сорт. Высокая гомеостатичность отмечена у сортов Короткостебельная 69 (180,6), Сибирская 87 (99,7), Си-

нильга (57,7), Калинка (73,7), Голубка (70,6), Юбилейная (93,6). Таким образом, согласно полученным данным гомеостатичности и коэффициента вариации была выделена идентичная реакция сортов озимой ржи.

Коэффициент экологической пластичности bi , показывающий отзывчивость сортов на изменения условий выращивания, принимает значения больше, меньше или равное единице (табл. 2). Пластичные сорта имеют полное соответствие изменения урожайности сорта к изменению условий выращивания ($bi = 1$), к таким сортам относится сорт озимой ржи Юбилейная ($bi = 1,06$). Высокопластичные сорта интенсивного типа имеют коэффициент регрессии $bi > 1$ и сильную реакцию на

изменение условий среды. Можно выделить сорта интенсивного типа: Памяти Кунакбаева, Алиса, Восток, Вердена, Талисман, Зубровка ($1,16-2,12 > 1$). Из них только четыре сорта ржи – Памяти Кунакбаева, Алиса, Талисман, Зубровка – имели урожайность выше 600 г/м^2 . Малопластичными сортами ($bi < 1$) являются сорта экстенсивного типа, которые слабо откликаются на улучшение условий выращивания: Короткостебельная 69, Сибирская 87, Чулпан, Синильга, Лота, Калинка, Голубка ($0,16-0,93 < 1$). Несмотря на это только три сорта озимой ржи (Короткостебельная 69, Сибирская 87, Чулпан) сформировали высокий уровень урожайности от 614 до $689,0 \text{ г/м}^2$.

Таблица 2

Показатели адаптивности, стабильности и стрессоустойчивости сортов озимой ржи по признаку «урожайность», 2019–2021 гг.
Indicators of adaptability, stability and stress resistance of winter rye varieties, 2019–2021.

Сорт	bi	σd^2	КА, %	ИЭП	КМ	Sc	C	КС
Короткостебельная 69 (st)	0,48	0,36	116,8	1,2	1,4	614,0	-47,3	657,2
Сибирская 87	0,88	52,92	122,0	1,2	1,0	603,7	-91,9	696,3
Чулпан	0,93	577,91	108,7	1,1	1,0	483,6	-148,5	625,2
Памяти Кунакбаева	1,95	20,77	106,4	1,1	3,2	432,9	-195,3	600,4
Синильга	0,86	41,62	90,7	0,9	2,2	436,8	-79,8	499,9
Алиса	1,87	19,27	111,7	1,1	2,8	469,6	-181,4	617,7
Лота	0,74	417,11	71,6	0,7	0,1	295,0	-124,4	396,5
Калинка	0,16	175,82	89,5	0,9	0,84	442,1	-68,6	509,1
Голубка	0,48	1,29	72,9	0,7	1,7	367,6	-46,5	408,5
Восток	1,16	86,11	67,9	0,7	2,2	281,6	-120,2	392,6
Вердена	1,31	32,92	95,9	1,0	2,2	427,3	-124,9	528,5
Талисман	2,12	0,04	108,8	1,1	2,4	434,0	-208,7	606,2
Зубровка	1,79	13,91	112,1	1,1	2,1	476,7	-178,6	632,2
Юбилейная	1,06	10,89	125,0	1,3	1,8	607,0	-106,5	706,8

Примечание. bi – коэффициент экологической пластичности (пластичность); σd^2 – величина стабильности реакции сортов (по S.A. Eberhart и W.A. Russell); КА – коэффициент адаптивности, % (по Л.А. Животкову); ИЭП – индекс экологической пластичности (по А.А. Грязнову); КМ – коэффициент мультипликативности; Sc – селекционная ценность; C – показатель стрессоустойчивости сорта; КС – компенсаторная способность (по А.А. Rossielle, J. Hemblin).

Note. bi – coefficient of environmental plasticity (plasticity); σd^2 – stability value of varieties responses (according to S.A. Eberhart and W.A. Russell); КА – adaptivity coefficient, % (according to L.A. Zhivotkov); ИЭП – index of environmental plasticity (according to A.A. Griaznov); КМ – multiplicativity coefficient; Sc – selection value; C – value of stress resistance of a variety; КС – compensatory capacity (according to A.A. Rossielle, J. Hemblin).

Среднеквадратичное отклонение σd^2 (стабильность) – это способность сортов сохранять постоянство признаков при изменяющихся

условиях выращивания. Если коэффициент стабильности меньше или равен нулю, то сорт наиболее стабилен, кроме того, это свидетель-

ствует о его лучшей приспособленности к изменяющимся условиям выращивания. В изученном наборе сортов наиболее стабильными были сорта Короткостебельная 69 и Талисман ($\sigma d^2 = 0,04-0,36$), а также сорт Голубка ($\sigma d^2 = 1,29$). Остальные образцы имеют нестабильную реакцию на изменяющиеся условия выращивания. При этом высокопластичные сорта ($bi > 1$ и $\sigma d^2 > 1$) будут иметь максимальную урожайность при благоприятных внешних условиях, а малопластичные ($bi < 1$ и $\sigma d^2 > 1$) будут стремиться к максимальной урожайности в неблагоприятных условиях. Наиболее ценными считаются генотипы, у которых $bi > 1$, а σd^2 стремится к нулю. Следовательно, такие генотипы наиболее отзывчивы на улучшение условий среды и устойчивы к их ухудшению, например, сорт ржи Талисман.

Для оценки пластичности сортов, наравне с методикой S.A. Eberhart, W.A. Russell, применяют метод В.А. Драгавцева по расчету коэффициента мультипликативности КМ. Чем выше значение КМ, тем сильнее сорт реагирует на изменение окружающей среды. Наибольшее значение КМ было отмечено у сортов Памяти Кунакбаева (3,1) Синильга (2,2), Алиса (2,8), Восток (2,2), Вердена (2,2), Талисман (2,4) и Зубровка (2,4), что в целом соответствует показателям $bi > 1$. Исключение составляет сорт Синильга, который относился к малопластичным сортам ($bi < 1$). Сорта с минимальными значениями КМ (0,1–1,9) относятся к сортам экстенсивного типа.

Уровню урожайности сортов при возделывании в различных условиях соответствует критерий их общей адаптивной способности, для оценки используется коэффициент адаптивности по методике Л.А. Животкова (КА). При $КА > 100\%$ сорт считается адаптивным. Наибольшее значение КА было отмечено у следующих сортов: Короткостебельная 69, Сибирская 87, Чулпан, Памяти Кунакбаева, Алиса, Талисман, Зубровка, Юбилейная. Все выделенные сорта сформировали урожайность выше 600 г/м^2 .

Индекс экологической пластичности ИЭП по методу А.А. Грязнова дает оценку пластичности сорту для регионов с неблагоприятными климатическими условиями. Наиболее пластичными являются сорта при ИЭП > 1 . К та-

ким сортам относятся Короткостебельная 69, Сибирская 87, Чулпан, Памяти Кунакбаева, Алиса, Талисман, Зубровка, Юбилейная.

В практической селекции для оценки стабильности сортов используют показатель их селекционной ценности Sc , который основывается на сопоставлении продуктивности в лимитированной и оптимальной средах с учетом усредненного показателя урожайности для всех сред. Чем выше значение Sc , тем стабильнее сорт. Наиболее селекционно-ценными сортами ржи являются: Короткостебельная 69, Сибирская 87, Чулпан, Памяти Кунакбаева, Алиса, Зубровка, Юбилейная.

Важной характеристикой сортов является их устойчивость к стрессу (С), уровень которой определяется по разности между минимальным и максимальным значением урожайности. Данный показатель имеет отрицательный знак, чем меньше он по абсолютной величине, тем выше стрессоустойчивость. Относительную устойчивость к стрессовым условиям проявили такие сорта, как Короткостебельная 69, Сибирская 87, Синильга, Калинка, Голубка. Таким образом, по показателям коэффициента вариации, гомеостатичности и стрессоустойчивости лучшими адаптивными сортами считаются Короткостебельная 69, Сибирская 87, Синильга, Калинка, Голубка.

Для характеристики стрессоустойчивости используется показатель генетической гибкости или его компенсаторная способность (КС). Средняя урожайность сорта в контрастных условиях характеризует компенсаторную возможность сорта. Чем больше эта величина, тем выше степень соответствия между генотипом сорта и различными факторами среды [10, 11]. Максимальную компенсаторную способность имели сорта Короткостебельная 69, Сибирская 87, Чулпан, Памяти Кунакбаева, Алиса, Талисман, Зубровка и Юбилейная. Высокой стрессоустойчивостью и компенсаторной способностью характеризуются сорта Короткостебельная 69 и Сибирская 87.

Таким образом, при сравнении приведенных выше показателей адаптивных свойств, стабильности и стрессоустойчивости используют метод ранжирования сортов. Окончательная оценка приводится по сумме рангов. При ранжировании данного набора показали

преимущество следующие изученные сорта: Юбилейная (102), Короткостебельная 69 (97), Сибирская 87 (87), Зубровка (79), Алиса (77) и Талисман (74).

Высокоурожайный сорт ржи Юбилейная относился к категории пластичных сортов ($bi = 1$, $KM > 1$, $KA > 100$, $ИЭП > 1$), он имел высокий уровень гомеостатичности (Hom) и однородности (CV), сочетающийся с высокой селекционной ценностью (Sc) и генетической гибкостью (KC).

Сорта озимой ржи Короткостебельная 69 и Сибирская 87 относятся к сортам экстенсивного типа ($bi < 1$, $KM < 1$), характеризуются высоким уровнем урожайности (более 650 г/м^2), гомеостатичностью (Hom), стабильностью (CV), селекционной ценностью (Sc), адаптивностью ($ИЭП > 1$, $KA > 100$), стрессоустойчивостью (C) и компенсаторной способностью (KC).

Высокопластичные ($bi > 1$, $KM > 1$) и адаптивные ($ИЭП > 1$, $KA > 100$) сорта Алиса и Зубровка отличаются высокой селекционной ценностью (Sc) и компенсаторной способностью (KC).

Сорт ржи Талисман относится к сортам интенсивного типа ($bi > 1$, $KM > 1$) с высоким уровнем стабильности ($\sigma d^2 = 0$), адаптивности

($ИЭП > 1$, $KA > 100$) и компенсаторной способности (KC).

ВЫВОДЫ

1. По результатам двухфакторного дисперсионного анализа влияние на урожайность оказывали генотипические различия между сортами – 77,34 % ($P < 0,05$) и сложившиеся условия выращивания в разные годы исследований – 11,98 % ($P < 0,05$).

2. Наибольшей урожайностью на уровне и выше стандарта Короткостебельная 69 (650 г/м^2) характеризовались сорта: Сибирская 87 ($689,0 \text{ г/м}^2$) и Юбилейная ($706,0 \text{ г/м}^2$).

3. В результате комплексной оценки с помощью ранжирования на адаптивность, стабильность и стрессоустойчивость выделены сорта озимой ржи: Юбилейная (102), Короткостебельная 69 (97), Сибирская 87 (87), Зубровка (79), Алиса (77), Талисман (74). Выделенные сорта способны давать относительно высокую урожайность в контрастных условиях Западной Сибири.

Работа выполнена в рамках Государственного задания ИЦиГ СО РАН (проект № FWN-2022-0018).

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Гончаренко А.А. Производство и селекция озимой ржи в России // *Зерновое хозяйство России*. – 2010. – № 4. – С. 25–32.
2. Результаты селекции озимой ржи в Центральном-Черноземном селекционном центре / В.В. Чайкин, А.А. Тороп, С.А. Кузьменко [и др.] // *Достижения науки и техники АПК*. – 2012. – № 5. – С. 8–10.
3. Парфенова Е.С., Шамова М.Г., Жукова М.Н. Агробиологическое изучение коллекции озимой ржи // *Вестник НГАУ (Новосибирский государственный аграрный университет)*. – 2023. – № 3. – С. 82–92. – DOI: 10.31677/2072-6724-2023-68-3-82-92.
4. Julija C., James E., Axel G. Yield and Forage Characteristics of Winter Rye Cultivars for Use within the Upper Midwest. – 2024. – P. 13. – DOI: 10.20944/preprints202401.1682.v1.
5. Integrating different stability models to investigate genotype $\times$ environment interactions and identify stable and high-yielding barley genotypes / B. Vaezi, A. Pour-Aboughadareh, R. Mohammadi, A. Mehraban // *Euphytica*. – 2019. – N 215 (4). – Article N 63. – DOI: 10.1007/s10681-019-2386-5.
6. Петрова А.А., Лухенко И.Е., Артемова Г.В. Актуальность увеличения доли озимой ржи в производственных посевах Западной Сибири // *Сибирский вестник сельскохозяйственной науки*. – 2023. – № 53 (3). – С. 53–62. – DOI: 10.26898/0370-8799-2023-3-6.
7. Gront E., Gozdowski D. Effect of Climate Change in Years 2006–2019 on Crop Yields in Poland. *European Journal of Sustainable Development*. – 2023. – N 12. – P. 225–236. – DOI: 10.14207/ejsd.2023.v12n4p225.
8. U.S. cereal rye winter cover crop growth database. *Scientific Data* / A. Huddell, R. Thapa, G. Marcillo [et al.]. – 2024. – N 11. – P. 200. – DOI: 10.1038/s41597-024-02996-9.
9. Рыбась И.А. Повышение адаптивности в селекции зерновых культур // *Сельскохозяйственная биология*. – 2016. – Т. 51, № 5. – С. 617–626. – DOI: 10.15389/agrobiology.2016.5.617rus.

10. 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. – Т. 184, № 2. – С. 66–75. – DOI:10.30901/2227–8834-2023-2-66-75.
11. Константинова О.Б., Кондратенко Е.П. Оценка урожайности и стабильности новых сортов озимой ржи в условиях лесостепной зоны Кемеровской области // Достижения науки и техники АПК. – 2015. – Т. 29, № 3. – С. 7–9.
12. Phenomic selection in wheat breeding: prediction of the genotype-by-environment interaction in multi-environment breeding trials / P. Robert, E. Goudemand, J. Auzanneau [et al.] // Theor Appl Genet. – 2022 – N 135 (10). – P. 3337–3356. – DOI:10.1007/s00122–022–04170–4.
13. Genome and Environment Based Prediction Models and Methods of Complex Traits Incorporating Genotype × Environment Interaction / J. Crossa, O.A. Montesinos–López, P. Pérez–Rodríguez [et al.] // Methods Mol Biol. – 2022. – N 2467. – P. 245–283. – DOI:10.1007/978-1-0716-2205-6_9.
14. Jubair S, Domaratzki M. Crop genomic selection with deep learning and environmental data: A survey // Front Artif Intell. – 2023. – N 10 (5). – P. 1040295. – DOI: 10.3389/frai.2022.1040295.
15. Рекашус Э.С. Современные методы оценки продуктивности и стабильности селекционных достижений (обзор) // Достижения науки и техники АПК. – 2022. – Т. 36, № 4. – С. 52–60. – DOI: 10.53859/02352451_2022_36_4_52.
16. Результаты селекции яровой мягкой пшеницы в СибНИИРС – филиале ИЦиГ СО РАН / Е.И. Лихенко, В.В. Советов, Г.В. Артемова [и др.] // Достижения науки и техники АПК. – 2021. – Т. 35, № 10. – С. 5–10.
17. Лубнин А.Н. Селекция мягкой яровой пшеницы в Сибири / РАСХН. Сиб. отд. ГНУ СибНИИРС. – Новосибирск, 2006. – С. 31–37.
18. Селянинов Г.Т. Методика сельскохозяйственной характеристики климата // Мировой агроклиматический справочник. Л.; М.: Гидрометеорол. изд-во, 1937. – С. 5–27.
19. Зоидзе Е.К., Хомякова Т.В. Моделирование формирования влагообеспеченности на территории Европейской России в современных условиях и основы оценки агроклиматической безопасности // Метеорология и гидрология. – 2006. – № 2. – С. 98–105.
20. Изучение и сохранение мировой коллекции ржи (методические указания) / Сост. В.Д. Кобылянский [и др.] – 2-е изд., доп. и перераб. – СПб.: ВИР, 2015. – 44 с.
21. Методика государственного сортоиспытания сельскохозяйственных культур. Вып. второй. Зерновые, крупяные, зернобобовые, кукуруза и кормовые культуры. – М: Калининская обл. тип., 1989. – 194 с.
22. Доспехов Б.А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований). – М.: Агропромиздат, 1985. – 351 с.
23. Eberhart S.A., Russell W.A. Stability parameters for comparing varieties // Crop Science. – 1966. – Vol. 6, N 1. – P. 36–40. – DOI: 10.2135/cropsci1966.0011183X000600010011x.
24. Экологической пластичности сельскохозяйственных растений (методика и оценка) / В.А. Зыкин, И.А. Белан, В.С. Юсов [и др.]. – Уфа, 2011. – 97 с.
25. Хангильдин В.В. О принципах моделирования сортов интенсивного типа. Генетика количественных признаков сельскохозяйственных растений. – М.: Наука, 1978. – С. 111–115.
26. Хангильдин В.В., Бирюков С.В. Проблема гомеостаза в генетико–селекционных исследованиях // Генетико-цитологические аспекты в селекции сельскохозяйственных растений. – 1984. – № 1. – С. 67–76.
27. Лихачева Л.И., Москалев А.В. Экологическая адаптивность сортообразцов гороха посевного в условиях Среднего Урала // Достижения науки и техники АПК. – 2022. – № 36 (4). – С. 47–51. – DOI: 10.53859/02352451_2022_36_4_47.
28. Rosielle A.A., Hamblin J. Theoretical aspects of selection for yield in stress and non-stress environments // Crop Science. – 1981. – N 21 (9). – P. 943–946. – DOI: 10.2135/cropsci1981.0011183X002100060033x.
29. Гончаренко А.А. Об адаптивности и экологической устойчивости сортов зерновых культур // Вестник Российской академии сельскохозяйственных наук. – 2005. – № 6. – С. 49–53.
30. Животков Л.А., Морозова З.А., Секатуева Л.И. Методика выявления потенциальной продуктивности и адаптивности сортов и селекционных форм озимой пшеницы по показателю «урожайность» // Селекция и семеноводство. – 1994. – № 2. – С. 3–7.

31. Драгавцев В.А., Цильке Р.А., Рейтер Б.Г. Генетика признаков продуктивности яровой пшеницы в Западной Сибири. – Новосибирск: Наука, 1984. – 230 с.
32. Грязнов А.А. Селекция ячменя в Северном Казахстане // Селекция и семеноводство. – 2000. – № 4. – С. 2–8.

REFERENCES

1. Goncharenko A.A., *Zernovoe khozyaistvo Rossii*, 2010, No. 4, pp. 25–32. (In Russ.)
2. Chaikin V.V., Torop A.A., Kuz'menko S.A. i dr., *Dostizheniya nauki i tekhniki APK*, 2012, No. 5, pp. 8–10. (In Russ.)
3. Parfenova E.S., Shamova M.G., Zhukova M.N., *Vestnik NGAU (Novosibirskii gosudarstvennyi agrarnyi universitet)*, 2023, No. 3, pp. 82–92. – DOI:10.31677/2072-6724-2023-68-3-82-92. (In Russ.)
4. Julija C., James E., Axel G., *Yield and Forage Characteristics of Winter Rye Cultivars for Use within the Upper Midwest*, 2024, pp. 13, DOI: 10.20944/preprints202401.1682.v1.
5. Vaezi B., Pour-Aboughadareh A., Mohammadi R., Mehraban A., Integrating different stability models to investigate genotype × environment interactions and identify stable and high-yielding barley genotypes, *Euphytica*, 2019, No. 215 (4), Article No. 63, DOI: 10.1007/s10681-019-2386-5.
6. Petrova A.A., Likhnenko I.E., Artemova G.V., *Sibirskii vestnik sel'skokhozyaistvennoi nauki*, 2023, No. 53 (3), pp. 53–62, DOI: 10.26898/0370-8799-2023-3-6. (In Russ.)
7. Gront, E., Gozdowski D., Effect of Climate Change in Years 2006-2019 on Crop Yields in Poland, *European Journal of Sustainable Development*, 2023, No. 12, pp. 225–236, DOI: 10.14207/ejsd.2023.v12n4p225.
8. Huddell A., Thapa R., Marcillo G. et al., U.S. cereal rye winter cover crop growth database, *Scientific Data*, 2024, No. 11, pp. 200, DOI: 10.1038/s41597-024-02996-9.
9. Rybas' I.A., *Sel'skhozajstvennaja biologija*, 2016, Vol. 51, No. 5, pp. 617–626, DOI: 10.15389/agrobiology.2016.5.617rus. (In Russ.)
10. Safonova I.V., Anis'kov N.I., *Trudy po prikladnoj botanike, genetike i selekcii*, 2023, Vol. 184, No. 2, pp. 66–75, DOI: 10.30901/2227-8834-2023-2-66-75. (In Russ.)
11. Konstantinova O.B., Kondratenko E.P., *Dostizheniya nauki i tekhniki APK*, 2015, Vol. 29, No. 3, pp. 7–9. (In Russ.)
12. Robert P., Goudemand E., Auzanneau J. [et al.], Phenomic selection in wheat breeding: prediction of the genotype-by-environment interaction in multi-environment breeding trials, *Theor Appl Genet*, 2022, No. 135 (10), pp. 3337–3356, DOI: 10.1007/s00122-022-04170-4.
13. Crossa J., Montesinos-López O.A., Pérez-Rodríguez P. [et al.], Genome and Environment Based Prediction Models and Methods of Complex Traits Incorporating Genotype × Environment Interaction, *Methods Mol Biol*, 2022, No. 2467, pp. 245–283, DOI: 10.1007/978-1-0716-2205-6_9.
14. Jubair S., Domaratzki M., Crop genomic selection with deep learning and environmental data: A survey, *Front Artif Intell*, 2023, No.10(5), pp. 1040295, DOI: 10.3389/frai.2022.1040295.
15. Rekashus Je.S., *Dostizheniya nauki i tekhniki APK*, 2022, Vol. 36, No. 4, pp. 52–60, DOI: 10.53859/02352451_2022_36_4_52. (In Russ.)
16. Lihenko E.I., Sovetov V.V., Artemova G.V. i dr., *Dostizheniya nauki i tekhniki APK*, 2021, Vol. 35, No. 10, pp. 5–10. (In Russ.)
17. Lubnin A.N., *Selekcija m'agkoj jarovoj pshenicy v Sibiri* (Breeding of soft spring wheat in Siberia), RASHN. Sib. otd-nie. GNU SibNIIRS. Novosibirsk, 2006, pp. 31–37. (In Russ.)
18. Seljaninov G.T., *Mirovoj agroklimaticheskij spravochnik*, Leningrad, Moscow: Gidrometeorologicheskoe izdatel'stvo, 1937, pp. 5–27. (In Russ.)
19. Zoidze E.K., Homjakova T.V., Modelirovanie formirovaniya vlogoobespechennosti na territorii Evropejskoj Rossii v sovremennyh uslovijah i osnovy ocenki agroklimaticheskoy bezopasnosti, *Meteorologija i gidrologija*, 2006, No. 2, pp. 98–105. (In Russ.)
20. *Izuchenie i sohranenie mirovoj kollekcii rzhi* (Study and preservation of the world's rye collection), pod V.D. Kobyljanskij i dr., Izd. 2-e, dop. i pererab., Sankt-Peterburg: VIR, 2015, 44 p. (In Russ.)
21. *Metodika Gosudarstvennogo sortoispytaniya sel'skhozajstvennykh kul'tur. Vypusk vtoroj. Zernovye, krupjanye, zernobobovye, kukuruza i kormovye kul'tury* (Methodology of state variety testing of agricultural

- crops. Issue two. Cereals, grains, legumes, corn and forage crops), Moscow: Kalininskaja obl. tipografija, 1989, 194 p. (In Russ.)
22. Dospëhov B.A., *Metodika polevogo opyta* (Field experiment methodology), Moscow: Agropromizdat, 1985, 416 p. (In Russ.)
23. Eberhart S.A., Russell W.A., Stability parameters for comparing varieties, *Crop Science*, 1966, Vol. 6, No. 1, pp. 36–40, DOI: 10.2135/cropsci1966.0011183X000600010011x.
24. Zykin V.A., Belan I.A., Jusov V.S. i dr., *Jekologicheskoy plastichnosti sel'skhozjajstvennyh rastenij (metodika i ocenka)* (Ecological plasticity of agricultural plants (methodology and assessment)), Ufa, 2011, 97 p. (In Russ.)
25. Hangil'din V.V., *O principah modelirovaniya sortov intensivnogo tipa. Genetika kolichestvennyh priznakov sel'skhozjajstvennyh rastenij* (On the principles of modeling intensive varieties. Genetics of quantitative traits of agricultural plants), Moscow: Nauka, 1978, pp. 111–115. (In Russ.)
26. Hangil'din V.V., Birjukov S.V., *Genetiko-citologicheskie aspekty v selekcii sel'skhozjajstvennyh rastenij*, 1984, No. 1, pp. 67–76. (In Russ.)
27. Lihacheva L.I., Moskalev A.V., *Dostizheniya nauki i tehniki APK*, 2022, No. 36 (4), pp. 47–51, DOI: 10.53859/02352451_2022_36_4_47. (In Russ.)
28. Rosielle A.A., Hamblin J., Theoretical aspects of selection for yield in stress and non-stress environments, *Crop Science*, 1981, No. 21 (9), pp. 943–946, DOI: 10.2135/cropsci1981.0011183X002100060033x.
29. Goncharenko A.A., *Vestnik Rossijskoj akademii sel'skhozjajstvennyh nauk*, 2005, No. 6, pp. 49–53. (In Russ.)
30. Zhivotkov L.A., Morozova Z.A., Sekatueva L.I., *Selekcija i semenovodstvo*, 1994, No. 2, pp. 3–7. (In Russ.)
31. Dragavcev V.A., Cil'ke R.A., Rejter B.G., *Genetika priznakov produktivnosti jarovoj pshenicy v Zapadnoj Sibiri* (Genetics of productivity traits of spring wheat in Western Siberia), Novosibirsk: Nauka, 1984, 230 p. (In Russ.)
32. Grjaznov A.A., *Selekcija i semenovodstvo*, 2000, No. 4, pp. 2–8. (In Russ.)