

Индексная оценка засухоустойчивости и адаптивности перспективных сортов диплоидной озимой ржи в контрастных условиях выращивания

И. В. Сафонова¹✉, Н. И. Аниськов¹

¹Федеральный исследовательский центр Всероссийский институт генетических ресурсов растений имени Н. И. Вавилова, Санкт-Петербург, Россия

✉E-mail: isafonova@vir.nw.ru

Аннотация. Озимая рожь выращивается в разнообразных почвенно-климатических условиях, что указывает на эволюционную устойчивость к действию абиотических стрессоров. В связи с периодическими весенне-летними засухами в условиях Северо-Западного региона РФ проблеме засухоустойчивости ржи отводится особое место. **Цель** настоящей работы – изучить 13 коллекционных сортов озимой диплоидной ржи на засухоустойчивость и адаптивность в Северо-Западном регионе РФ и выделить наиболее перспективные. **Методы.** Опыты закладывались с 2018 по 2022 годы на полевом участке, расположенном в Северо-Западном регионе. Для определения засухоустойчивости сортов использовали индексы: средняя продуктивность (MP), индекс выносливости (TOL), индекс стабильности урожайности (YSI), индекс засухоустойчивости (DI), индекс толерантности (STI), геометрическая средняя продуктивность (CMP), индекс засухоустойчивости (DSI), агрономическая засухоустойчивость (Аз), степень снижения урожайности (X_3). Для вычисления адаптивности применяли показатели: $d\%$ – диапазон урожая, $V\%$ – коэффициент вариации, Эр – эффект реакции, Ка – коэффициент адаптивности, Ки – коэффициент интенсивности, d т/га – диапазон урожая в т/га. **Результаты.** В годы изучения к засушливым можно отнести 2018, 2019 и 2022 годы. Средняя урожайность в эти годы составила от 3,6 т/га у сорта Нива, до 4,99 т/га у сорта Лота. 2020 и 2021 годы – благоприятные, средняя урожайность – от 6,3 т/га у сорта Нива, до 9,9 т/га у сорта Офелия. Наиболее засухоустойчивыми сортами являются Лота, Зубровка, Талисман, Нива, Ясельда, наиболее адаптивными – Зубровка, Эра, Офелия, Талисман, Ясельда. Из перечисленных методов определения засухоустойчивости следует обратить внимание на индекс стабильности урожайности (YSI) и индекс засухоустойчивости (DI). Для выявления адаптивности: коэффициент адаптивности (Ка) и коэффициент интенсивности (Ки). **Научная новизна** заключается в сравнительной оценке урожайности засухоустойчивости и адаптивности сортов озимой ржи и выявлении среди них обладающих комплексом хозяйственно полезных признаков и устойчивых к засушливым условиям Северо-Западного региона.

Ключевые слова: озимая рожь, урожайность, индексы, стрессоустойчивость, ранг, адаптивность.

Для цитирования: Сафонова И. В., Аниськов Н. И. Индексная оценка засухоустойчивости и адаптивности перспективных сортов диплоидной озимой ржи в контрастных условиях выращивания // Аграрный вестник Урала. 2023. № 07 (236). С. 32–45. DOI: 10.32417/1997-4868-2023-236-07-32-45.

Дата поступления статьи: 09.02.2023, **дата рецензирования:** 09.04.2023, **дата принятия:** 12.04.2023.

Постановка проблемы (Introduction)

В настоящий момент заметный интерес вызывает выведение генотипов с высокой засухоустойчивостью. Сорт с усредненной и постоянной продуктивностью будет более приемлем для производства, чем сорт с высокой, но меняющейся урожайностью в различных средах возделывания. Создание и реализация селекционной работы по выведению засухоустойчивых форм озимой ржи, адаптивных и конкретным агроклиматическим условиям, дает возможность внедрять сорта в конкретный регион

с учетом изменчивости факторов среды обитания и воздействия ограничивающих факторов. Кардинальной задачей селекции является увеличение адаптивных возможностей сорта при условии сбережения приобретенного уровня продуктивности. Обычно пластичным является сорт, который повышает данный показатель при улучшении условий возделывания, но в то же время понижает его при ухудшении условий выращивания [1, с. 3–6; 2, с. 48–53].

Почвенно-климатические условия в одном и том же регионе весьма отличаются, в связи с этим наблюдается варьирование урожайности как в пространстве (страна, регион, область, хозяйство) так и во времени [3, с. 58–64]. Устойчивость к засухе – многообразный показатель, который зависит от согласованности большинства процессов, позволяющих генотипу формировать урожай на уровне потенциального в условиях дефицита обеспечения влагой. Показатель эффективности засухоустойчивости образцов осуществляется непосредственно в полевых условиях в засушливые годы в период вегетации по уровню продуктивности. Определяют также степень влияния засухи на рост и величину растений, крупность зерна, число зерен в колосе, длину колоса, уровень отмирания листьев [4, с. 32–34; 5, с. 16–22].

По мощности виды засухи формально разделены на виды: очень сильная – уменьшение урожая на 50 % и более; сильная – лишение урожая на 20–50 %; средняя – убыль урожая менее чем на 20 %. По срокам начала отмечают весеннюю, летнюю и осеннюю засухи, по продолжительности она бывает краткосрочной (в начале, середине или конца вегетации) или долгосрочной (в течение всего периода вегетации) [6, с. 19–23; 7, с. 25–34].

Рожь по праву считается одним из засухоустойчивых злаков. Но в то же время она страдает от недостаточного увлажнения, особенно в критические периоды развития зерна [8, с. 10–16; 9, с. 15–19; 10, с. 18–22; 11, с. 20–23; 12, с. 31–36]. **Цель исследования** заключается в сравнительной оценке урожайности, засухоустойчивости и адаптивности сортов озимой ржи, и выявлении среди них комплекса хозяйственно полезных признаков и устойчивых к засушливым условиям Северо-Западного региона.

Методология и методы исследования (Methods)

Объектом исследований являлись 13 сортов диплоидной озимой ржи (*S. cereale L. var. vulgare Koern.*). Сорта российской селекции: Эра (к-11640), Эврика (к-11867), Зилант (к-11875), Иртышская (к-11832), Ирина (к-11755); сорта белорусской селекции: Офелия (к-11868), Ясельда (к-11569), Зубровка (к-11570), Зарница (к-11772), Талисман (к-11773), Нива (к-11793), Восток (к-11863), Лота (к-11865). Изучаемые сорта различались по продуктивности. Полевое изучение засухоустойчивости проходило в 2018–2022 годы. Опыты закладывались на суглинистых дерново-подзолистых почвах по чистому пару. Сорта высевали сеялкой ССФК-7, норма высева – 4 млн всхожих зерен на 1 га. Убирали вручную, с дальнейшим обмолотом на селекционной молотилке. Весной после схода снега производили подкормку. Структурный анализ элементов урожая проводили в соответствии с методическими указаниями ВИР [13, с. 44]. Для оценки сортов по засухоустойчивости использовали показатели засухоустойчи-

вости, с помощью которых сравнивается уровень уменьшения урожая в засушливых условиях в отличие от нормальных [14, с. 85–89]. В РФ используется всего несколько индексов засухоустойчивости [15, с. 49–52; 16, с. 159–161]. Отдельные наиболее приемлемые и распространенные индексы представлены ниже (таблица 1).

Статистическая обработка адаптивности проведена по методике В. А. Зыкина (1984): d – размах урожая и потенциал урожайности сорта, Эр – эффект реакции – по В. В. Новохатину (2019); Ка – коэффициент адаптивности, Ки – коэффициент интенсивности по Л. А. Животкову (2014). В течение исследований (2018–2022 гг.) в период вегетации наблюдались контрастные условия выращивания сортов озимой ржи, что позволило провести комплексную оценку степени ее засухоустойчивости. В 2020 году были самые благоприятные условия за время испытания, самая высокая урожайность в данном опыте – 8,1 т/га. В период вегетации 2018, 2019, 2022 года от всходов до налива зерна наблюдался дефицит влаги и повышенные температуры, в результате этого получен низкий уровень урожая (3,7 т/га; 2,4 т/га; 4,9 т/га соответственно). Условия более достаточного увлажнения сложились в 2021 году уровень урожайности – 7,0 т/га (рис. 1).

Результаты (Results)

Урожайность – один из важнейших параметров хозяйственно-биологической значимости генотипа. При этом он оказывается результирующим признаком воздействия внешней среды на генотип. Считается что величина урожая является результатом компромисса между потенциальной продуктивностью и экологической устойчивостью сорта [17, с. 52–56; 18, с. 84–90; 19, с. 165–172; 20, с. 8–13]. В нашем опыте средняя пятилетняя урожайность в засушливые 2018, 2019, 2022 годы составила 4,99 т/га у сорта Лота. В благоприятные годы (2020, 2021) урожайность изменялась (9,9 т/га у сорта Офелия). Максимальная продуктивность в среднем по опыту составила 6,73 т/га ($Lim = 2,19–11,0$ т/га), минимальная – 2,08 т/га ($Lim = 1,05–9,0$ т/га). Отличительной особенностью большинства изученных сортов является превышение над стандартом Эра по среднему уровню продуктивности (+0,04...+1,46 т/га) (таблица 2).

В связи с часто повторяющимися весенне-летними засухами в условиях Северо-Западного региона требуются тщательное изучение и анализ данных, полученных в этих условиях, для выявления сортов озимой ржи, пригодных для выращивания. Получить достоверную и математически объективную оценку засухоустойчивости генотипа – испытание его в полевых условиях в течение ряда лет, при использовании индексов, рассчитанных по продуктивности. При этом применяется для комплексной характеристики совокупность индексов.

Таблица 1

Индексы засухоустойчивости, использованные в исследовании

Агротехнологии

Индекс	Значение индекса у лучших генотипов	Формула	Источник
Средняя продуктивность	Высокое	$MP = \frac{Y_s + Y_p}{2}$	Rosielle, Hamblin, 1981
Индекс выносливости	Низкое	$TOL = Y_p - Y_s$	Rosielle, Hamblin, 1981
Индекс стабильности	Высокое	$YSI = \frac{Y_s}{Y_p}$	Bousslama, Schapaugh, 1984
Индекс засухоустойчивости	Высокое	$DI = \frac{Y_s \cdot Y_s}{Y_p \cdot Y_s}$	Lan, 1998
Индекс толерантности к стрессу	Высокое	$STI = \frac{Y_p \cdot Y_s}{Yp_2}$	Fernandez, 1992
Геометрическая средняя продуктивность	Высокое	$CMP = \sqrt{x_1 \times x_2}$	Fernandez, 1992
Индекс засухоустойчивости	Высокое	$DSI = (1 - Y/Y_p)/(1 - X/X_p)$	Fischer, Maurer, 1978
Агрономическая засухоустойчивость	Высокое	$A_3 = \frac{Y_s}{Y_p} \times 100$	Пакуль В. Н., Плиско Л. Г., 2018
Степень снижения урожайности	Низкое	$X_3 = \frac{(x_2 - x_1)}{x_2} \times 100$	Пакуль В. Н., Плиско Л. Г., 2018

Примечание. Y – урожайность сорта, Y_s, Y_p – урожайность в благоприятных и оптимальных условиях; \bar{Y}_p, \bar{Y}_s – средняя урожайность исследуемой выборки сортов в благоприятных и стрессовых условиях; X – средняя урожайность для всех сортов в стрессовых условиях; X_p – средняя урожайность для всех сортов без стресса; X_3 – степень снижения урожайности; X_1 – урожайность в засушливые годы; X_2 – урожайность в благоприятные годы.

Table 1
Drought resistance indices used in the study

Index	The index value of the best genotypes	Formula	Source
Average productivity	High	$AP = \frac{Y_s + Y_p}{2}$	Rosielle, Hamblin, 1981
Endurance Index	Low	$TOL = Y_p - Y_s$	Rosielle, Hamblin, 1981
Stability Index	High	$YSI = \frac{Y_s}{Y_p}$	Bousslama, Schapaugh, 1984
Drought Resistance Index	High	$DI = \frac{Y_s \cdot Y_s}{Y_p \cdot Y_s}$	Lan, 1998
Stress Tolerance Index	High	$STI = \frac{Y_p \cdot Y_s}{Yp_2}$	Fernandez, 1992
Geometric average productivity	High	$GAP = \sqrt{x_1 \times x_2}$	Fernandez, 1992
Drought Resistance Index	High	$DSI = (1 - Y/Y_p)/(1 - X/X_p)$	Fischer, Maurer, 1978
Agronomic drought resistance	High	$Adt = \frac{Y_s}{Y_p} \times 100$	Pakul V. N., Plisko L. G., 2018
The degree of yield reduction	Low	$X_3 = \frac{(x_2 - x_1)}{x_2} \times 100$	Pakul V. N., Plisko L. G., 2018

Note. Y – the yield of the variety, Y_s, Y_p – yield under favorable and stressful conditions; \bar{Y}_p, \bar{Y}_s – average yield of the studied sample of varieties under favorable and stressful conditions; X – average yield for all varieties under stress; X_p – average yield for all varieties without stress; X_3 – the degree of yield reduction; X_1 – yield in dry years; X_2 – yield in favorable years.

Таблица 2

Изменение продуктивности генотипов озимой ржи (2018–2022 гг.)

Сорта	Засушливые годы				Среднее	Благоприятные годы		Среднее	Среднее по сорту	± к стандарту	% к стандарту
	2018	2019	2022	2020		2021	Среднее				
Эра	3,94	3,86	4,0	7,5	3,93	7,05	7,3	5,27	0	100	
Офелия	3,27	2,96	4,2	10,3	3,47	9,4	9,9	6,03	+0,76	144,4	
Ясельда	3,65	3,03	5,3	9,0	3,99	7,6	8,3	5,72	+0,45	108,5	
Зубровка	3,77	3,16	6,1	8,1	4,34	8,1	8,1	5,85	+0,58	111,0	
Зарница	4,91	1,75	5,3	8,9	3,99	7,0	7,95	5,57	+0,30	105,7	
Талисман	4,65	2,19	6,5	11,0	4,45	6,5	8,75	6,73	+1,46	127,7	
Нива	1,74	2,47	6,6	6,0	3,6	6,6	6,3	5,02	-0,25	95,2	
Восток	3,29	2,78	4,4	7,1	3,49	6,8	6,95	4,87	-0,40	92,4	
Лота	3,76	1,76	5,5	8,8	4,99	9,3	9,0	5,83	+0,56	110,6	
Зилант	4,21	2,63	5,5	7,5	4,11	9,1	8,3	5,79	+0,52	109,9	
Иргышская	3,13	2,88	5,4	8,5	3,8	7,3	7,6	5,44	+1,17	103,2	
Эврика	4,62	1,51	7,5	6,8	4,48	6,9	6,8	5,47	+0,20	103,8	
Ирина	3,68	3,04	4,5	7,8	3,74	7,5	7,7	5,31	+0,04	101,0	
ΣYi	59,2	38,4	78,7	130,2	58,8	112	—	—	—	—	
Ȳi	3,7	2,4	4,9	8,1	3,7	7,0	7,5	—	—	—	
li	-1,6	-2,8	-0,9	+2,9	—	+1,77	—	—	—	—	

Table 2
Changes in the productivity of winter rye genotypes (2018–2022)

Varieties	Dry years				Average	Favorable years		Average	Average by grade	± to standard	% to standard
	2018	2019	2022	2020		2021	Average				
Era	3.94	3.86	4.0	7.5	3.93	7.05	7.3	5.27	0	100	
Ofeliya	3.27	2.96	4.2	10.3	3.47	9.4	9.9	6.03	+0.76	144.4	
Yasel'da	3.65	3.03	5.3	9.0	3.99	7.6	8.3	5.72	+0.45	108.5	
Zubrovka	3.77	3.16	6.1	8.1	4.34	8.1	8.1	5.85	+0.58	111.0	
Zarnitsa	4.91	1.75	5.3	8.9	3.99	7.0	7.95	5.57	+0.30	105.7	
Talisman	4.65	2.19	6.5	11.0	4.45	6.5	8.75	6.73	+1.46	127.7	
Niva	1.74	2.47	6.6	6.0	3.6	6.6	6.3	5.02	-0.25	95.2	
Vostok	3.29	2.78	4.4	7.1	3.49	6.8	6.95	4.87	-0.40	92.4	
Lota	3.76	1.76	5.5	8.8	4.99	9.3	9.0	5.83	+0.56	110.6	
Zilant	4.21	2.63	5.5	7.5	4.11	9.1	8.3	5.79	+0.52	109.9	
Iryshskaya	3.13	2.88	5.4	8.5	3.8	7.3	7.6	5.44	+1.17	103.2	
Evrিকা	4.62	1.51	7.5	6.8	4.48	6.9	6.8	5.47	+0.20	103.8	
Irina	3.68	3.04	4.5	7.8	3.74	7.5	7.7	5.31	+0.04	101.0	
ΣYi	59.2	38.4	78.7	130.2	58.8	112	—	—	—	—	
Ȳi	3.7	2.4	4.9	8.1	3.7	7.0	7.5	—	—	—	
li	-1.6	-2.8	-0.9	+2.9	—	+1.77	—	—	—	—	



Рис. 1. Метеопараметры условий выращивания (г. Пушкин, 2018–2022 гг.)

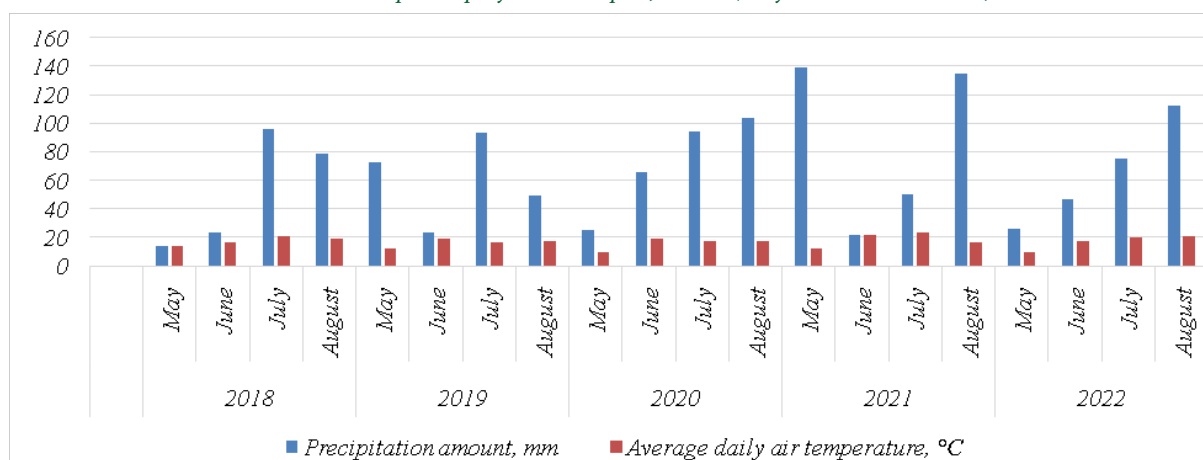


Fig. 1. Meteorological parameters of growing conditions (Pushkin, 2018–2022)

A. A. Rosielle, J. Hamblin [21, с. 945], полагают, что показатель толерантности (TOL), это разность продуктивности оптимальных (Y_p) и неблагоприятных (Y_s) условиях среды и промежуточную продуктивность (MP), в качестве средних показателей Y_p и Y_s . Основываясь на этом, они принимают сорта с большей средней урожайностью (MP) и низкими показателями индекса толерантности (TOL) наиболее засухоустойчивыми. Индекс выносливости указывает, насколько уменьшилась урожайность образцов в неблагоприятный год по сравнению с благоприятным. Как показывают результаты нашего изучения, высокая ценность характерна для сортов Талисман, Лота, Офелия, Зарница, Иртышская (MP = 7,6; 7,0; 6,7; 6,6; 6,6 соответственно). Сорта Нива, Эра, Восток характеризуются высокой изменчивостью засухоустойчивости (TOL = 2,7; 3,0; 3,4; 3,5 соответственно) (таблица 3).

По мнению авторов, M. Bouslama and W. T. Scharaugh [22, p. 935], показатель стабильности продуктивности (YSI) указывает на сколько урожай в засушливый год меньше, чем в благополучный. Эта особенность характерна для сортов Офелия, Ирина, Эврика (YSI = 2,8; 2,8; 2,3 соответственно).

J. Lan [23, p. 86] предлагает для расчета засухоустойчивости использовать показатель DI, который учитывает, насколько уменьшилась урожайность в засушливый год по сравнению с благоприятным годом и насколько урожайность в засушливые годы больше, чем средняя выборка. В анализируемом нами изучении достоверно превысили стандарт Эра сорта Ясельда (DI = 0,6), Зубровка (DI = 0,6), Нива (DI = 0,6), Лота (DI = 0,6).

G. C. J. Fernandez [24, p. 259] при вычислении засухоустойчивости сортов по варьированию их урожайности использовал показатель толерантности к засухе (STI), который является произведением урожая в стрессовых и благополучных условиях. Индекс толерантности, определенный нами, подтверждает высокую адаптивность сортов Нива, Талисман, Лота, Эра (STI = 0,57; 0,56; 0,55; 0,54 соответственно). Также он применял геометрическую среднюю продуктивность (CMP), образцы с большими значениями (STI) и (CMP) будут более предпочтительны. Анализ средних значений выше указанного индекса (CMP) показал, что это сорта Лота, Талисман, Эврика, Зубровка, Иртышская (CMP = 6,8; 6,2; 6,1; 5,9 соответственно).

Индексы засухоустойчивости сортов озимой ржи (2018–2022 гг.)

Сорта	Индексы засухоустойчивости								
	MP	TOL	YSI	DI	STI	CMP	DSI	Aз	X _з
Эра	5,6	3,4	1,9	0,54	0,54	2,7	0,72	53,8	46,2
Офелия	6,7	6,4	2,8	0,32	0,35	3,1	1,01	35,1	64,9
Ясельда	6,2	4,3	2,1	0,6	0,48	5,7	0,81	48,1	51,9
Зубровка	6,2	3,8	1,9	0,6	0,51	5,9	0,81	53,6	46,4
Зарница	6,6	4,0	1,8	0,5	0,50	5,6	0,78	50,2	51,0
Талисман	7,6	4,3	2,0	0,51	0,56	6,23	0,77	50,9	49,1
Нива	5,0	2,7	1,7	0,6	0,57	4,8	0,67	57,1	43,0
Восток	5,2	3,5	2,0	0,5	0,5	4,9	0,78	50,2	49,8
Лота	7,0	4,1	1,8	0,6	0,55	6,8	0,71	54,8	45,2
Зилант	6,2	4,2	2,0	0,49	0,49	5,8	0,79	49,5	50,5
Иртышская	6,6	5,5	2,0	0,41	0,41	5,9	0,92	40,9	59,2
Эврика	5,0	3,8	2,5	0,41	0,53	6,1	0,73	53,3	46,7
Ирина	4,5	4,0	2,8	0,48	0,49	5,4	0,80	48,1	51,4

Table 3

Drought resistance indices of winter rye varieties (2018–2022)

Varieties	Drought resistance indices								
	AP	TOL	YSI	DI	STI	GAP	DSI	Adt	X _з
Era	5.6	3.4	1.9	0.54	0.54	2.7	0.72	53.8	46.2
Ofeliya	6.7	6.4	2.8	0.32	0.35	3.1	1.01	35.1	64.9
Yasel'da	6.2	4.3	2.1	0.6	0.48	5.7	0.81	48.1	51.9
Zubrovka	6.2	3.8	1.9	0.6	0.51	5.9	0.81	53.6	46.4
Zarnitsa	6.6	4.0	1.8	0.5	0.50	5.6	0.78	50.2	51.0
Talisman	7.6	4.3	2.0	0.51	0.56	6.23	0.77	50.9	49.1
Niva	5.0	2.7	1.7	0.6	0.57	4.8	0.67	57.1	43.0
Vostok	5.2	3.5	2.0	0.5	0.5	4.9	0.78	50.2	49.8
Lota	7.0	4.1	1.8	0.6	0.55	6.8	0.71	54.8	45.2
Zilant	6.2	4.2	2.0	0.49	0.49	5.8	0.79	49.5	50.5
Irtyskaya	6.6	5.5	2.0	0.41	0.41	5.9	0.92	40.9	59.2
Evrika	5.0	3.8	2.5	0.41	0.53	6.1	0.73	53.3	46.7
Irina	4.5	4.0	2.8	0.48	0.49	5.4	0.80	48.1	51.4

В настоящее время при расчете засухоустойчивости часто используют показатель (DSI), предложенный R. A. Fischer, R. Maurer. Он основан на использовании урожайности сорта в условиях стресса и без стресса.

Согласно расчетам, с использованием этой методики, наиболее засухоустойчивы генотипы Офелия (DSI = 1,01), Иртышская (DSI = 0,92).

Установлено, что при выявлении уровня засухоустойчивости сорта нередко используют показатель агрономическая засухоустойчивость (Aз). По этому показателю стабильнее других высокую засухоустойчивость формировали сорта Нива (Aз = 57,1), Лота (Aз = 54,8), Эра (Aз = 53,8), Зубровка (Aз = 53,6), Эврика (Aз = 53,3), Талисман (Aз = 50,9), которые отнесены к высоко засухоустойчивым.

Величина степени снижения урожайности (X_з) показывает вариацию засухоустойчивости. Чем его величина меньше, тем сорт более засухоустойчив. Высокая засухоустойчивость наблюдалась у образцов Нива (X_з = 43,0), Лота (X_з = 45,2), Эра (X_з = 46,2), Зубровка (X_з = 46,4), Эврика (X_з = 46,7), Та-

лисман (X_з = 49,1). Для полной и окончательной оценки засухоустойчивости сортов необходимо использовать объединенную характеристику совокупности параметров. У всех индексов определенные плюсы и минусы, поэтому характеристика сортов одним из них не всегда полностью отражает их засухоустойчивость. Необходимо использовать метод ранжирования сортов по величине засухоустойчивости, оценку проводить по меньшей сумме рангов, полученных каждым сортом. По результатам испытания высокий уровень засухоустойчивости характерен для сортов Лота, Зубровка, Талисман, Нива, Ясельда, Эра (рис. 2).

Сорт – это генетическая система, которая по-разному реагирует на внешние факторы окружающей среды. Отличительная особенность каждого сорта – способность реализовать потенциал урожайности в зависимости от складывающихся погодных условий, в связи с этим правильный выбор сорта имеет первостепенное значение при его использовании.

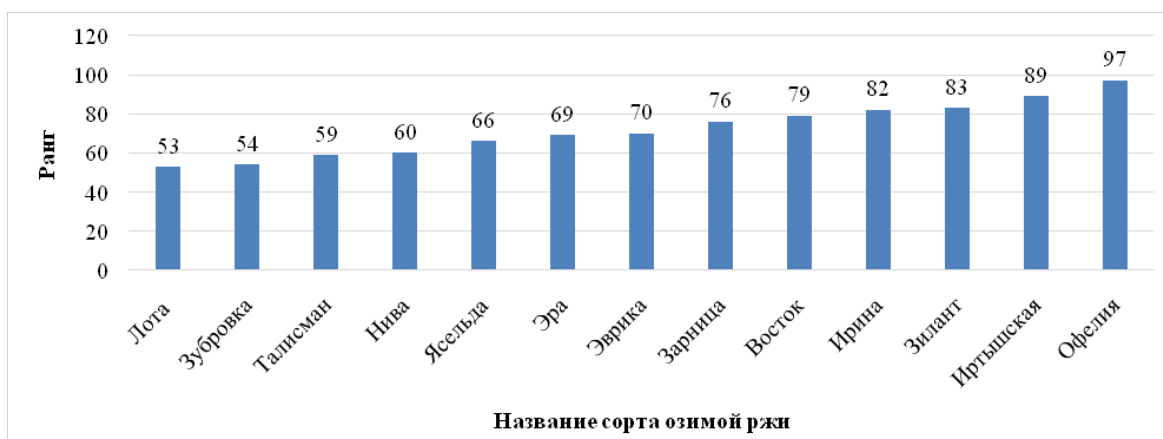


Рис. 2. Ранжирование сортов озимой ржи по засухоустойчивости

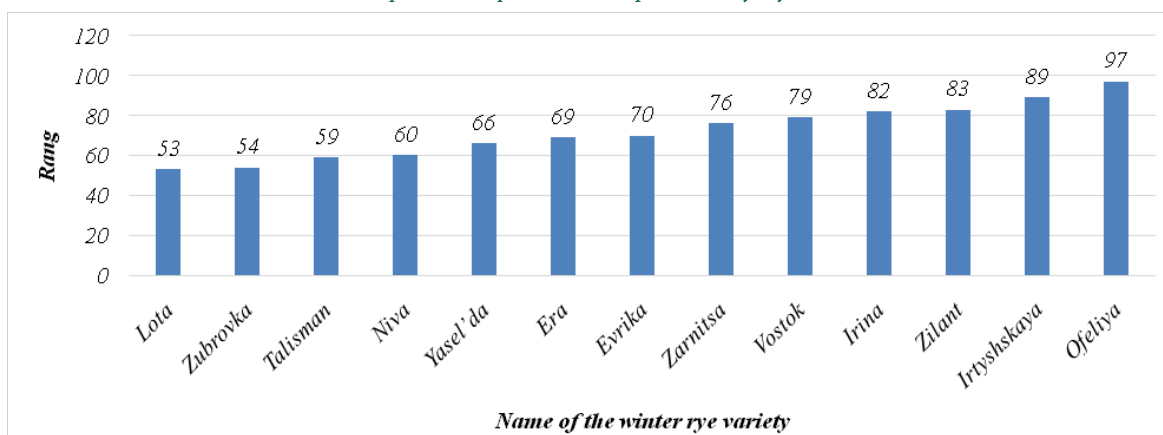


Fig. 2. Ranking of winter rye varieties by drought resistance

Первым из рассмотренных адаптационных параметров сортов, предложенный В. А. Зыкиным (1984), в разных климатических условиях был его диапазон урожайности, который определяется по формуле:

$$d = \frac{Y_{\max} - Y_{\min}}{Y_{\max}} 100, \quad (1)$$

где Y_{\max} , Y_{\min} – урожай соответственно максимальный и минимальный.

Этот показатель указывает на степень устойчивости сорта к условиям выращивания.

Высокая устойчивость характерна для сортов Эра, Зубровка, Восток, Ирина ($d\% = 48,0; 60,4; 60,5; 61,5$ % соответственно) (таблица 4).

Реализация потенциала возделываемых сортов зависит от факторов среды и их биологических параметров. Рассчитывается так:

$$РПУ = \frac{Y_{\max} - Y_{\min}}{Y_{\text{средн}}} 100, \quad (2)$$

где Y_{\max} , Y_{\min} , $Y_{\text{средн}}$ – соответственно максимальный, минимальный, средний урожай.

Высокая величина уровня показателя потенциала урожайности отмечена у сортов Нива (132,0), Талисман (131,3), Эра (129,3), Лота (129,3), Зарница (128,5), Офелия (122,1).

По мнению Б. А. Доспехова (2014), для определения уровня адаптивности возможно применять коэффициент вариации (V) – стандартизированное отклонение, отображенное в процентах к средней арифметической изученного набора сортов:

$$V = \frac{S}{\bar{X}} 100, \quad (3)$$

где S – стандартное отклонение; \bar{X} – средняя урожайность сорта.

Вариацию общепринято воспринимать незначительной, если она не достигает 10 %, средней – если действует в пределах больше 10 %, но меньше 20 %, и существенной, если превышает 20 %.

Высокий уровень варьирования отмечен у популяций Нива, Лота, Талисман, Зарница. Меньший – у сортов Эра, Офелия, Зубровка, Восток.

В настоящее время отмечается важность приспособленности сорта к конкретным условиям в связи с неодинаковым поведением сортов в одной зоне в зависимости от условий года. Для выявления этого параметра мы в своих исследованиях использовали показатель эффекта реакции на условия среды (Эр), введенный В. В. Новохатиным (2019).

$$\text{Эр} = (Ai - Afi) - Ji, \quad (4)$$

где Ai – величина урожая сорта в год изучения;

Afi – средняя величина признака за годы изучения;

Ji – индекс условий среды.

Диапазон урожая и исполнение его потенциальных возможностей у диплоидных сортов ржи (2018–2022 гг.), Пушкин

Образец	Урожайность, т/га			Диапазон (d)		V% Коэффициент вариации	Потенциальная урожайность, %
	min	max	Среднее \bar{Y}_i	max – min, т/га	в %		
Эра	3,9	7,5	5,3	3,6	48,0	34,9	129,3
Офелия	3,0	10,3	6,0	7,3	70,9	39,1	122,1
Ясельда	3,0	9,0	5,7	6,0	66,0	44,7	105,2
Зубровка	3,2	8,1	5,9	4,9	60,4	39,1	83,0
Зарница	1,7	8,9	5,6	7,2	80,8	47,8	128,5
Талисман	2,2	11,0	6,7	8,8	80,0	52,6	131,3
Нива	1,7	8,3	5,0	6,6	79,5	56,3	132,0
Восток	2,8	7,1	4,9	4,3	60,5	40,4	87,7
Лота	1,8	9,3	5,8	7,5	80,6	55,5	129,3
Зилант	2,6	9,1	5,5	6,5	71,4	47,3	118,1
Иртышская	2,9	8,5	5,5	5,6	65,4	44,8	101,2
Эврика	1,5	7,5	5,5	6,0	80,0	45,0	109,1
Ирина	3,0	7,8	5,3	4,8	61,5	41,8	90,5

Table 4

The range of yield and the fulfillment of its potential in diploid varieties of rye (2018–2022), Pushkin

Varieties	Yield, t/ha			Range (d)		V% coefficient of variation	Potential yield, %
	min	max	Average \bar{Y}_i	max – min, t/ha	%		
Era	3.9	7.5	5.3	3.6	48.0	34.9	129.3
Ofeliya	3.0	10.3	6.0	7.3	70.9	39.1	122.1
Yasel'da	3.0	9.0	5.7	6.0	66.0	44.7	105.2
Zubrovka	3.2	8.1	5.9	4.9	60.4	39.1	83.0
Zarnitsa	1.7	8.9	5.6	7.2	80.8	47.8	128.5
Talisman	2.2	11.0	6.7	8.8	80.0	52.6	131.3
Niva	1.7	8.3	5.0	6.6	79.5	56.3	132.0
Vostok	2.8	7.1	4.9	4.3	60.5	40.4	87.7
Lota	1.8	9.3	5.8	7.5	80.6	55.5	129.3
Zilant	2.6	9.1	5.5	6.5	71.4	47.3	118.1
Irtyskaya	2.9	8.5	5.5	5.6	65.4	44.8	101.2
Evrika	1.5	7.5	5.5	6.0	80.0	45.0	109.1
Irina	3.0	7.8	5.3	4.8	61.5	41.8	90.5

Повышенная адаптивность выявлена у сортов Талисман ($\text{Эр} = 1,11$), Офелия ($\text{Эр} = 0,41$), Зубровка ($\text{Эр} = 0,23$), Лота ($\text{Эр} = 0,21$), Зилант ($\text{Эр} = 0,15$). К образцам, имеющим слабую реакцию на варьирование условий возделывания, относятся Восток, Нива, Эра, Ирина, Эврика ($\text{Эр} = -0,75 \dots -0,17$) (таблица 5).

Наиболее существенным методом понижения межгодовых различий в урожайности является использование более адаптивных сортов. Поэтому определение адаптивной реакции сортов на изменение экологических условий по годам весьма актуально.

Л. А. Животков (2014) для оценки адаптивной реакции образцов предлагает использовать коэффициент адаптивности (K_a) и коэффициент интенсивности (K_i).

$$K_a = \frac{\bar{Y}_c}{\text{ССУГ}} \times 100, \quad (5)$$

Коэффициент адаптивности K_a показывает отношение средней урожайности отдельного сорта (к

средней урожайности всех испытываемых сортов в неблагоприятные годы (ССУГ).

$$K_i = \frac{Y_c}{\text{ССУГ}} \times 100, \quad (6)$$

Коэффициент интенсивности (K_i) показывает такое же отношение, но в благоприятные годы.

Высокая адаптивность была выявлена у сортов Эврика ($K_a = 121,1\%$), Талисман ($K_a = 120,3\%$), Зубровка ($K_a = 117,3\%$), Зилант ($K_a = 111,1\%$) (таблица 6).

К интенсивным сортам, предпочитающим высокий уровень агротехнологии, относятся Офелия, Лота, Талисман, Зилант ($K_i = 132; 120; 116,7; 110,7\%$).

Оценка одним показателем не полностью объективно выявляет адаптивность, пластичность и стабильность сорта. Более всестороннюю информацию обеспечивает применение ряда параметров, но в таком случае необходимо использовать ранжирование сортов (рис. 3).

Таблица 5
Степень эффекта реакции сортов (2018–2022 гг.)

Образец	Величина эффекта реакции сортов (Эр)					Σ (Эр)	Среднее (Эр)
	2017–2018	2018–2019	2019–2020	2020–2021	2021–2022		
Эра	+0,1	+1,3	-0,8	-0,9	-1,45	-1,75	-0,35
Офелия	-0,5	+0,4	+2,0	+1,4	-1,25	+2,05	+0,41
Ясельда	-0,1	+0,4	+0,7	-0,4	-0,15	+0,45	+0,09
Зубровка	0	+0,6	-0,2	+0,1	+0,65	+1,15	+0,23
Зарница	+11	-0,9	0,6	-1,0	-0,15	-0,35	-0,07
Талисман	+0,9	-0,4	+2,7	+1,3	+1,05	+5,55	+1,11
Нива	-2,1	-0,1	-2,3	+0,3	+1,15	-3,05	-0,61
Восток	-0,5	+0,2	-1,2	-1,2	-1,05	-3,75	-0,75
Лото	0	-0,8	+0,5	+1,3	+0,05	+1,05	+0,21
Зилант	+0,4	0	-0,8	+1,1	+0,05	+0,75	+0,15
Иртышская	-0,6	+0,3	+0,2	-0,7	+0,04	-0,76	-0,15
Эврика	+0,8	-1,1	-1,5	-1,1	+2,05	-0,85	-0,17
Ирина	-0,1	+0,4	-0,5	-0,5	-0,95	-1,65	-0,33

Table 5
Degree of reaction effect of varieties (2018–2022)

Varieties	Value reaction effect varieties (Er)					Σ (Er)	Average (Er)
	2017–2018	2018–2019	2019–2020	2020–2021	2021–2022		
Era	+0.1	+1.3	-0.8	-0.9	-1.45	-1.75	-0.35
Ofeliya	-0.5	+0.4	+2.0	+1.4	-1.25	+2.05	+0.41
Yasel'da	-0.1	+0.4	+0.7	-0.4	-0.15	+0.45	+0.09
Zubrovka	0	+0.6	-0.2	+0.1	+0.65	+1.15	+0.23
Zarnitsa	+11	-0.9	0.6	-1.0	-0.15	-0.35	-0.07
Talisman	+0.9	-0.4	+2.7	+1.3	+1.05	+5.55	+1.11
Niva	-2.1	-0.1	-2.3	+0.3	+1.15	-3.05	-0.61
Vostok	-0.5	+0.2	-1.2	-1.2	-1.05	-3.75	-0.75
Loto	0	-0.8	+0.5	+1.3	+0.05	+1.05	+0.21
Zilant	+0.4	0	-0.8	+1.1	+0.05	+0.75	+0.15
Irtyskaya	-0.6	+0.3	+0.2	-0.7	+0.04	-0.76	-0.15
Evrika	+0.8	-1.1	-1.5	-1.1	+2.05	-0.85	-0.17
Irina	-0.1	+0.4	-0.5	-0.5	-0.95	-1.65	-0.33

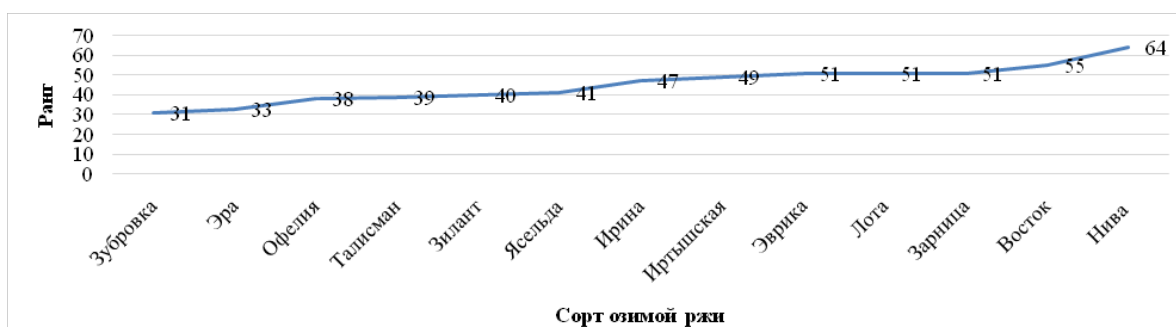


Рис. 3. Ранжирование сортов озимой ржи (2018–2022)

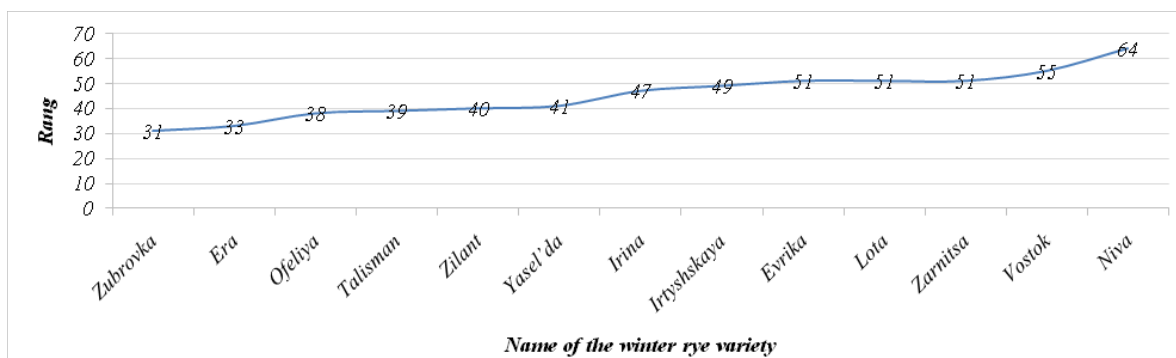


Fig. 3. Ranking of winter rye varieties (2018–2022)

Таблица 6

Адаптивная реакция сортов ржи на экологические условия по годам испытания

Образец	Коэффициент адаптивности (Ka)				Коэффициент интенсивности (Ki)		
	Засушливые годы				Благоприятные годы		
	2018	2019	2022	Среднее	2020	2021	Среднее
Эра	106,8	104,3	108,1	106,0	100,0	94,0	97,3
Офелия	88,4	80,0	113,5	94,0	137,3	125,3	132,0
Ясельда	98,6	82,0	143,2	107,8	120,0	101,3	110,7
Зубровка	102,0	85,4	164,8	117,3	108,0	108,0	108,0
Зарница	133,0	47,2	143,0	107,8	118,7	93,3	106,0
Талисман	125,4	59,2	175,6	120,3	146,7	86,7	116,7
Нива	47,0	66,7	178,4	97,3	80,0	88,0	84,0
Восток	88,9	75,1	118,9	92,7	94,7	90,7	92,7
Лото	101,6	47,6	148,6	99,3	117,3	124,0	120,0
Зилант	114,0	71,1	148,6	111,1	100,0	121,3	110,7
Иртышская	84,6	77,8	145,9	102,7	113,3	97,3	101,3
Эврика	125,0	40,8	203,0	121,1	90,7	92,0	91,0
Ирина	99,5	82,1	121,6	101,1	104,0	100,0	102,7

Table 6

Adaptive response of rye varieties to environmental conditions by years of testing

Varieties	Coefficient of adaptability (Ca)				Coefficient of intensity (Ci)		
	Dry years				Favorable years		
	2018	2019	2022	Average	2020	2021	Average
Era	106.8	104.3	108.1	106.0	100.0	94.0	97.3
Ofeliya	88.4	80.0	113.5	94.0	137.3	125.3	132.0
Yasel'da	98.6	82.0	143.2	107.8	120.0	101.3	110.7
Zubrovka	102.0	85.4	164.8	117.3	108.0	108.0	108.0
Zarnitsa	133.0	47.2	143.0	107.8	118.7	93.3	106.0
Talisman	125.4	59.2	175.6	120.3	146.7	86.7	116.7
Niva	47.0	66.7	178.4	97.3	80.0	88.0	84.0
Vostok	88.9	75.1	118.9	92.7	94.7	90.7	92.7
Loto	101.6	47.6	148.6	99.3	117.3	124.0	120.0
Zilant	114.0	71.1	148.6	111.1	100.0	121.3	110.7
Irtyskaya	84.6	77.8	145.9	102.7	113.3	97.3	101.3
Evrika	125.0	40.8	203.0	121.1	90.7	92.0	91.0
Irina	99.5	82.1	121.6	101.1	104.0	100.0	102.7

Анализ результатов тестирования выявил, что наиболее приспособленными являются сорта Зубровка, Эра, Офелия, Талисман, Зилант, Ясельда ($\Sigma p = 31, 33, 38, 39, 40$ соответственно).

Обсуждение и выводы (Discussion and Conclusion)

Наши исследования показали, что на основании селекционной работы, которая выполнялась с 2018 по 2022 годы, в условиях Северо-Западного региона условия произрастания варьировали. В годы изучения к засушливым можно отнести 2018, 2019 и 2022 годы. Средняя урожайность составила от 3,6 т/га у сорта Нива до 4,99 т/га у сорта Лота. 2020 и 2021 годы – благоприятные, урожайность – (от 6,3 т/га у сорта Нива, до 9,9 т/га у сорта Офелия). Превысили по уровню среднего урожая стандарт Эра сорта Талисман, Офелия, Зубровка, Лота, Иртышская, Ясельда. Для определения засухоустойчивости сортов использовали индексы: средняя продуктивность (MP), индекс выносливости (TOL), индекс стабильности урожайности (YSI), индекс засухоустойчивости (DI), индекс толерантности

(STI), геометрическая средняя продуктивность (CMP), индекс засухоустойчивости (DSI), агрономическая засухоустойчивость (Az), степень снижения урожайности (Xз). Следует обратить внимание на индекс стабильности урожайности (YSI) и индекс засухоустойчивости (DI). Из 13 изученных коллекционных образцов озимой ржи были выделены засухоустойчивые и адаптивные сорта Лота, Зубровка, Талисман, Нива, Ясельда, которые могут быть рекомендованы для использования в селекционном процессе.

Благодарности (Acknowledgements)

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».

Библиографический список

1. Кобылянский В. Д., Кузнецова Л. И., Солодухина О. В. [и др.] Перспективы использования низкопентозановой ржи для хлебопекарных целей // Российская сельскохозяйственная наука. 2018. № 6. С. 3–6.
2. Тимина М. А., Кобылянский В. Д., Бутковская Л. К. Использование первичного семеноводства озимой ржи // Вестник КрасГАУ. 2020. № 5. С. 48–53.
3. Никитина В. И., Количенко А. А. Оценка экологической стабильности сортов яровой мягкой пшеницы на сортоучастках Красноярского края // Вестник КрасГАУ. 2019. № 3. С. 58–64.
4. Пакуль В. Н., Мартынова С. В., Андросов Д. Е. Оценка адаптивной способности и стабильности ярового ячменя в условиях северной лесостепи Кузнецкой котловины // Достижения науки и техники АПК. 2018. Т. 32. № 1. С. 32–34. DOI: 10.24411/0235-2451-2018-10106.
5. Манукян И. Р., Басиева М. А., Мирошникова Е. С., Абиев В. Б. Оценка адаптивности генотипов озимой пшеницы к засушливым условиям предгорной зоны Центрального Кавказа // Аграрный вестник Урала. 2019. № 5 (184). С. 16–22. DOI: 10.32417/article_5d5151b14b9cf7.14014444.
6. Чеканин С. Г., Оськин А. А., Сейфулина Ш. [и др.] Оценка влияния различных типов засух на продуктивность возделывания культур // Известия Оренбургского Государственного аграрного университета. 2020. № 1 (81). С. 19–23.
7. Мальцева Л. Т., Филиппова Е. А., Банникова Н. Ю., Катаева Н. В. Влияние засух на хозяйственно ценные признаки яровой мягкой пшеницы в условиях лесостепной зоны Курганской области // Вестник Омского ГАУ. 2021. № 3 (43). С. 25–34.
8. Немцев С. И., Шарипова Р. Б. Оценка агрометеорологических показателей атмосферных засух и урожайность зерновых культур в изменяющихся условиях регионального климата // Известия Самарской государственной сельскохозяйственной академии. 2020. Вып. 1. С. 10–16.
9. Мухитов Л. А., Тимошенкова Т. А. Сорты яровой твердой пшеницы, адаптированные к условиям степи Уральского региона // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. 2021. № 3 (89). С. 15–19. DOI: 10.37670/2073-0853-2021-89-3-15-19.
10. Ионова Е. В., Лиховидова В. А., Лобунская И. А. Засуха и гидротермический коэффициент увлажнения как один из критериев оценки степени ее интенсивности (обзор литературы) // Зерновое хозяйство России. 2019. № 6 (66). С. 18–22. DOI: 10.31367/2079-8725-2019-66-6-18-22.
11. Максютков Н. А., Зоров А. А., Скороходов В. Ю. [и др.] Урожайность сельскохозяйственных культур в условиях засухи степной зоны южного Урала // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. 2019. № 5 (79). С. 20–23.
12. Янченко В. И., Розова М. В., Мельник В. М. Использование засухоустойчивого генофонда твердой яровой пшеницы в создании высокоадаптивных сортов сибирского экотипа // Вестник региональной сети по внедрению сортов пшеницы и семеноводству. 2004. № 1-2 (7-8), С. 31–36.
13. 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. 44 с.
14. Калыбекова Ж. Т., Цыганкова В. И., Зуев Е. В., Новикова Л. Ю. Использование индексов засухоустойчивости при изучении коллекции яровой пшеницы в условиях Актюбинской области // Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции. 2022. Т. 183. № 3. С. 85–89. DOI: 10.30901-2227-8834-2022-3-85-89.
15. Пакуль В. Н., Плиско Л. Г. Засухоустойчивость сортов яровой мягкой пшеницы // Международный научно-исследовательский журнал. 2018. № 2 (789). С. 49–52.
16. Василевский В. Д. Индексная оценка засухоустойчивости сортов мягкой яровой пшеницы разных групп спелости в южной лесостепи Западной Сибири // Аграрная наука – сельскому хозяйству: сборник материалов международной научно-практической конференции. Барнаул, 2019. С. 159–161.
17. Кравченко Н. С., Лиховидова В. А., Скрипка О. В. Качество зерна и засухоустойчивость сортов озимой мягкой пшеницы // Зерновое хозяйство России. 2018. № 1 (55). С. 52–56.
18. Сайфутдинова Д. Д., Пономарева М. Л., Илалова Л. В. Формирование урожайности и качества зерна озимой ржи в условиях недостаточного увлажнения // Зерновое хозяйство России. 2022. Т. 14. № 5. С. 84–90. DOI: 10.31367/2079-8725-2022-82-5-84-90.
19. Нуждина Н. Н., Ермолаева Т. Я., Кайргалиева Д. В., Лихолетова Е. А. Урожайность и качество зерна современных сортов озимой ржи // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: Наука и высшее профессиональное образование. 2018. № 3 (51). С. 165–172.
20. Пономарева М. Л., Пономарев С. Н., Маннапова Г. С., Гильмуллина Л. Ф., Илалова Л. В., Вафина Г. С. Новый сорт озимой ржи Зилант с широкой адаптацией // Зерновое хозяйство России. 2021. № 1 (73). С. 8–13. DOI: 10.31367/2079-8725-2021-73-1-8-13.
21. Rosielle A. A., Hamblin J. Theoretical aspects of selection for yield in stress and non-stress environment. Crop Science. 1978. No. 21 (6). Pp. 943–946.

22. Bouslama M., Schapaugh W. T. Stress tolerance in soybean. Part 1: Evaluation of three screening techniques for heat and drought tolerance // *Crop Science*. 1984. Vol. 24. Pp. 933–937. DOI: 10.2135/cropsci1984.0011183X002400050026x.
23. Lan J. Comparison of evaluating methods for agronomic drought resistance in crops // *Acta Agriculture Boreali-occidentalis Sinica*. 1998. No. 7. Pp. 85–87.
24. Fernandez G. C. J. Effective selection criteria for assessing stress tolerance // *Proceedings of the International Symposium on Adaptation of Vegetables and Other Food Crops in Temperature and Water stress tolerance*. Tainan, 1992. Pp. 257–270.
25. Зыкин А. А., Мешков В. В., Сапега В. А. Параметры экологической пластичности сельскохозяйственных растений, их расчет и анализ: методические рекомендации. Новосибирск: Сибирское отделение ВАСХНИЛ, 1984. 24 с.
26. Доспехов Б. А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований). 5-е изд. Москва: Альянс, 2014. 351 с.
27. Новохатин В. В. Экологическая селекция мягкой пшеницы // *Оптимизация селекционного процесса – фактор стабилизации и роста продукции растениеводства Сибири (ОСП–2019): материалы международной научной конференции*. Красноярск, 2019. С. 92–103.
28. Животков Л. А., Морозова З. А., Секатуева Л. И. Методики выявления потенциальной продуктивности сортов и селекционных форм озимой пшеницы по показателю урожайности // *Селекция и семеноводство*. 2014. № 2. С. 2–6.

Об авторах:

Ирина Владимировна Сафонова¹, кандидат сельскохозяйственных наук, старший научный сотрудник, ORCID 0000-0001-8138-930X, AuthorID 430608; +7 931 542-74-29, isafonova@vir.nw.ru

Николай Иванович Анисков¹, доктор сельскохозяйственных наук, старший научный сотрудник, ORCID 0000-0002-7819-8286, AuthorID 260589; +7 812 571-00-14, n.aniskov@vir.nw.ru

¹ Федеральный исследовательский центр Всероссийский институт генетических ресурсов растений имени Н. И. Вавилова, Санкт-Петербург, Россия

Index assessment of drought resistance of promising varieties of diploid winter rye in contrastive growing conditions

I. V. Safonova¹✉, N. I. Aniskov¹

¹ Federal Research Center All-Russian Institute of Plant Genetic Resources named after N. I. Vavilov, Saint Petersburg, Russia

✉ E-mail: isafonova@vir.nw.ru

Abstract. Winter rye is grown in a variety of soil and climatic conditions, which indicates the evolutionary resistance to the action of abiotic stressors. Due to periodic spring-summer droughts in the conditions of the North-West region of the Russian Federation, the problem of drought tolerance in rye is of particular importance. **The purpose** of this study was to investigate 13 winter diploid rye collection varieties for drought tolerance and adaptability in the Northwestern region of the Russian Federation and to identify the most promising ones. **Methods.** Experiments were laid from 2018 to 2022 in a field plot located in the Northwestern region. To determine the drought tolerance of varieties we used indices: average productivity (AP), endurance index (TOL), yield stability index (YSI), drought tolerance index (DI), tolerance index (STI), geometric average productivity (GAP), drought tolerance index (DSI), agronomic drought tolerance (Adt), degree of yield reduction (X_3). To calculate adaptability, the following indicators were used: d% – yield range in %, V% – coefficient of variation, Er – response effect, Ca – adaptability coefficient, Ci – intensity coefficient, d t/ha – yield range in t/ha. **Results.** The study years can be classified as drought years 2018, 2019, and 2022. The average yield in these years ranged from 3.6 t/ha for the variety Niva, to 4.99 t/ha for the variety Lota. Years 2020 and 2021 are favorable, with average yields ranging from 6.3 t/ha for the variety Niva, to 9.9 t/ha for the variety Ofeliya. The most drought-resistant varieties are Lota, Zubrovka, Talisman, Niva, Yasel'da, the most adaptive are Zubrovka, Era, Ofeliya, Talisman, Yasel'da. Of the listed methods of determining drought tolerance, we should pay attention to the Yield Stability Index (YSI) and Drought Tolerance Index (DI). To identify adaptability: the coefficient of adaptability (Ca) and the coefficient of intensity

(Ci). **Scientific novelty.** Consists in a comparative assessment of yield drought tolerance and adaptability of winter rye varieties and identifying among them possessing a set of economically useful features and resistant to drought conditions of the North-West region.

Keywords: winter rye, yield, indices, stress resistance, rank, adaptability.

For citation: Safonova I. V., Aniskov N. I. Indeksnyaya otsenka zasukhoustoychivosti i adaptivnosti perspektivnykh sortov diploidnoy ozimoy rzhi v kontrastnykh usloviyakh vyrashchivaniya [Index assessment of drought resistance of promising varieties of diploid winter rye in contrastive growing conditions] // Agrarian Bulletin of the Urals. 2023. No. 07 (236). Pp. 32–45. DOI: 10.32417/1997-4868-2023-236-07-32-45. (In Russian.)

Date of paper submission: 09.02.2023, **date of review:** 09.04.2023, **date of acceptance:** 12.04.2023.

References

1. Kobylanskiy V. D., Kuznetsova L. I., Solodukhina O. V. et al. Perspektivy ispol'zovaniya nizkopentozanovoy rzhi dlya khlebopekarnykh tseley [Prospects of using low-pentosan rye for baking purposes] // Russian agricultural science. 2018. No. 6. Pp. 3–6. (In Russian.)
2. Timina M. A., Kobylanskiy V. D., Butkovskaya L. K. Ispol'zovanie pervichnogo semenovodstva ozimoy rzhi [The use of primary seed production of winter rye] // Bulletin of KrasGAU. 2020. No. 5. Pp. 48–53. (In Russian.)
3. Nikitina V. I., Kolichenko A. A. Otsenka ekologicheskoy stabil'nosti sortov yarovoy myagkoy pshenitsy na sortouchastkakh Krasnoyarskogo kraya // [Assessment of the ecological stability of spring soft wheat varieties at the variety sites of the Krasnoyarsk Territory] // Bulletin of KrasGAU. 2019. No. 3. Pp. 58–64. (In Russian.)
4. Pakul' V. N., Martynova S. V., Androsov D. E. Otsenka adaptivnoy sposobnosti i stabil'nosti yarovogo yachmenya v usloviyakh severnoy lesostepi Kuznetskoy kotloviny [Assessment of the adaptive capacity and stability of spring barley in the conditions of the northern forest-steppe of the Kuznetsk basin] // Achievements of science and technology of AIC. 2018. Vol. 32. No.1. Pp. 32–34. DOI: 10.24411/0235-2451-2018-10106. (in Russian.)
5. Manukyan I. R., Basiyeva M. A., Miroshnikova E. S., Abiyev V. B. Otsenka adaptivnosti genotipov ozimoy pshenitsy k zasushlivym usloviyam predgornoy zony Tsentral'nogo Kavkaza // [Assessment of the adaptability of winter wheat genotypes to the arid conditions of the foothill zone of the Central Caucasus] // Agrarian Bulletin of the Urals. 2019. No. 5 (184). Pp. 16–22. DOI: 10.32417/article_5d5151b14b9cf7.14014444. (In Russian.)
6. Chekanin S. G., Os'kin A. A., Seyfulina S. Kh. et. al. Otsenka vliyaniya razlichnykh tipov zasukh na produktivnost' vozdeleyvaniya kul'tur [Assessment of the impact of various types of droughts on the productivity of cultivation of crops] // Izvestiya Orenburg State Agrarian University. 2020. No. 1 (81). Pp. 19–23. (In Russian.)
7. Mal'tseva L. T., Filippova E. A., Bannikova N. Yu., Katayeva N. V. Vliyanie zasukh na khozyaystvenno tsennyye priznaki yarovoy myagkoy pshenitsy v usloviyakh lesostepnoy zony Kurganskoy oblasti [Influence of droughts on economically valuable signs of spring soft wheat in the conditions of the forest-steppe zone of the Kurgan region] // Bulletin of the Omsk State University. 2021. No. 3 (43). Pp. 25–34. (In Russian.)
8. Nemtsev S. I., Sharipova R. B. Otsenka agrometeorologicheskikh pokazateley atmosferykh zasukh i urozhaynost' zernovykh kul'tur v izmenyayushchikhsya usloviyakh regional'nogo klimata [Assessment of agrometeorological indicators of atmospheric droughts and grain yields in changing regional climate conditions] // Proceedings of the Samara State Agricultural Academy. 2020. Iss. 1. Pp. 10–16. (In Russian.)
9. Mukhitov L. A., Timoshenkova T. A. Sorta yarovoy tverdoy pshenitsy, adaptirovannyye k usloviyam stepi Ural'skogo regiona [Varieties of spring durum wheat adapted to the conditions of the steppe of the Ural region] // Izvestiya Orenburg State Agrarian University. 2021. No. 3 (89). Pp. 15–19. DOI: 10.37670/2073-0853-2021-89-3-15-19. (In Russian.)
10. Ionova E. V., Likhovidova V. A., Lobunskaya I. A. Zasukha i gidrotermicheskiy koeffitsiyent uvlazhneniya kak odin iz kriteriyev otsenki stepeni yeye intensivnosti (obzor literatury) [Drought and hydrothermal moisture coefficient as one of the criteria for assessing the degree of its intensity (literature review)] // Grain farming of Russia. No. 6 (66). Pp. 18–22. DOI: 10.31367/2079-8725-2019-66-6-18-22. (In Russian.)
11. Maksyutov N. A., Zorov A. A., Skorokhodov V. Yu. et al. Urozhaynost' sel'skokhozyaystvennykh kul'tur v usloviyakh zasukhi stepnoy zony yuzhnogo Urala [Crop productivity in drought conditions of the steppe zone of the southern Urals] // Izvestiya Orenburg State Agrarian University. 2019. No. 5 (79). Pp. 20–23. (in Russian.)
12. Yanchenko V. I., Rozova M. V., Mel'nik V. M. Ispol'zovaniye zasukhoustoychivogo genofonda tverdoy yarovoy pshenitsy v sozdaniy vysokoadaptivnykh sortov sibirskogo ekotipa [The use of the drought-resistant gene pool of hard spring wheat in the creation of highly adaptive varieties of the Siberian ecotype] // Vestnik regional'noy seti po vnedreniyu sortov pshenitsy i semenovodstvu. 2004. No. 1-2 (7-8). Pp. 31–36. (In Russian.)
13. Kobylanskiy V. D., Safonova I. V., Solodukhina O. V., Anis'kov N. I. Metodicheskiye ukazaniya po izucheniyu i sokhranenyu mirovoy kolleksii rzhi [Methodological guidelines for the study and preservation of the world collection of rye]. Saint Petersburg: VIR, 2015. 44 p. (In Russian.)

14. Kalybekova Zh. T., Tsygankova V. I., Zuyev E. V., Novikova L. Yu. Ispol'zovaniye indeksov zasukhoustoychivosti pri izuchenii kollektzii yarovoy pshenitsy v usloviyakh Aktyubinskoy oblasti [The use of drought resistance indices in the study of spring wheat collection in the conditions of the Aktobe region] // Proceedings on applied botany, genetics and breeding. 2022. Vol. 183. No. 3. Pp. 85–89. DOI: 10.30901-2227-8834-2022-3-85-89. (In Russian.)
15. Pakul' V. N., Plisko L. G. Zasukhoustoychivost' sortov yarovoy myagkoy pshenitsy [Drought resistance of spring soft wheat varieties] // International Scientific Research Journal. 2018. No. 2 (789). Pp. 49–52. (In Russian.)
16. Vasilevskiy V. D. Indeksnyaya otsenka zasukhoustoychivosti sortov myagkoy yarovoy pshenitsy raznykh grupp spelosti v yuzhnoy lesostepi Zapadnoy Sibiri [Index assessment of drought resistance of varieties of soft spring wheat of different ripeness groups in the southern forest-steppe of Western Siberia] // Agrarnaya nauka – sel'skomu khozyaystvu: sbornik materialov mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii. 2019. Pp. 159–161. (In Russian.)
17. Kravchenko N. S., Likhovidova V. A., Skripka O. V. Kachestvo zerna i zasukhoustoychivost' sortov ozimoy myagkoy pshenitsy [Grain quality and drought resistance of winter soft wheat varieties] // Grain farming of Russia. 2018. No. 1 (55). Pp. 52–56. (In Russian.)
18. Sayfutdinova D. D., Ponomareva M. L., Ilalova L. V. Formirovaniye urozhaynosti i kachestva zerna ozimoy rzhi v usloviyakh nedostatochnogo uvlazhneniya [Formation of yield and quality of winter rye grain in conditions of insufficient moisture] // Grain farming of Russia. 2022. Vol. 14. No. 5. Pp. 84–90. DOI: 10.31367/2079-8725-2022-82-5-84-90. (In Russian.)
19. Nuzhdina N. N., Ermolayeva T. Ya., Kayrgaliyeva D. V., Likholetova E. A. Urozhaynost' i kachestvo zerna sovremennykh sortov ozimoy rzhi [Yield and grain quality of modern varieties of winter rye] // Izvestia of the Lower Volga Agro-University Complex. 2018. No. 3 (51). Pp. 165–172. (In Russian.)
20. Ponomareva M. L., Ponomarev S. N., Mannapova G. S., Gil'mullina L. F., Ilalova L. V., Vafina G. S. Novyy sort ozimoy rzhi Zilant s shirokoy adaptatsiyey [A new variety of winter rye Zilant with wide adaptation] // Grain farming of Russia. 2021. No. 1 (73). Pp. 8–13. DOI: 10.31367/2079-8725-2021-73-1-8-13. (In Russian.)
21. Rosielle A. A., Hamblin J. Theoretical aspects of selection for yield in stress and non-stress environment. *Crop Science*. 1978. No. 21 (6). Pp. 943–946.
22. Bouslama M., Schapaugh W. T. Stress tolerance in soybean. Part 1: Evaluation of three screening techniques for heat and drought tolerance // *Crop Science*. 1984. Vol. 24. Pp. 933–937. DOI: 10.2135/cropsci1984.0011183X002400050026x.
23. Lan J. Comparison of evaluating methods for agronomic drought resistance in crops // *Acta Agriculture Boreali-occidentalis Sinica*. 1998. № 7. Pp. 85–87.
24. Fernandez G. C. J. Effective selection criteria for assessing stress tolerance // Proceedings of the International Symposium on Adaptation of Vegetables and Other Food Crops in Temperature and Water stress tolerance. Tainan, 1992. Pp. 257–270.
25. Zykin A. A., Meshkov V. V., Sapega V. A. Parametry ekologicheskoy plastichnosti sel'skokhozyaystvennykh rasteniy, ikh raschet i analiz: metodicheskiye rekomendatsii [Parameters of ecological plasticity of agricultural plants, their calculation and analysis: methodological recommendations]. Novosibirsk: Sibirskoye otdeleniye VASKHNIL, 1984. 24 p. (In Russian.)
26. Dospikhov B. A. Metodika polevogo opyta (s osnovami statisticheskoy obrabotki rezul'tatov issledovaniy) [Methodology of field experience (with the basics of statistical processing of research results)]. 5th edition. Moscow: Al'yans, 2014. 351 p. (In Russian.)
27. Novokhatin V. V. Ekologicheskaya selektsiya myagkoy pshenitsy [Ecological selection of soft wheat] // Optimizatsiya selektsionnogo protsessa – faktor stabilizatsii i rosta produktsii rasteniyevodstva Sibiri (OSP–2019): materialy mezhdunarodnoy nauchnoy konferentsii. Krasnoyarsk, 2019. Pp. 92–103. (In Russian.)
28. Zhivotkov L. A., Morozova Z. A., Sekatuyeva L. I. Metodiki vyyavleniya potentsial'noy produktivnosti sortov i selektsionnykh form ozimoy pshenitsy po pokazatelyu urozhaynosti [Methods for identifying the potential productivity of varieties and breeding forms of winter wheat according to the “yield” indicator] // Seleksiya i semenovodstvo. 2014. No. 2. Pp. 2–6. (In Russian.)

Authors' information:

Irina V. Safonova¹, candidate of agricultural sciences, senior researcher, ORCID 0000-0001-8138-930X, AuthorID 430608; +7 931 542-74-29, isafonova@vir.nw.ru

Nikolay I. Aniskov¹, doctor of agricultural sciences, senior researcher, ORCID 0000-0002-7819-8286, AuthorID 260589; +7 812 571-00-14, n.aniskov@vir.nw.ru

¹Federal Research Center All-Russian Institute of Plant Genetic Resources named after N. I. Vavilov, Saint Petersburg, Russia