

Растениеводство, защита и биотехнология растений

УДК 633.14:630.165.41

DOI 10.31857/S2500262725020039 EDN DDZOBOD

ИНТЕГРАЛЬНАЯ ОЦЕНКА АДАПТИВНОГО ПОТЕНЦИАЛА СОРТОВ ОЗИМОЙ РЖИ ПО ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМ ПРИЗНАКАМ КАЧЕСТВА ЗЕРНА

© 2025 г. **А. А. Гончаренко**, доктор сельскохозяйственных наук, академик РАН, **А. В. Макаров**, доктор сельскохозяйственных наук, **Н. В. Цыганкова**, **В. Н. Точилин**, **Н. А. Ключко**, **М. С. Гончаренко**, **А. К. Костин**, кандидаты сельскохозяйственных наук, **П. А. Плотников**

Федеральный исследовательский центр «Немчиновка»,
143026, Московская обл., Одинцовский р-н, пос. Новоивановское, ул. Агрохимиков, 6
E-mail: goncharenko05@mail.ru

Исследования проводили с целью оценки параметров адаптивности основных технологических признаков (число падения (ЧП), высота амилограммы (ВА), вязкость водного экстракта (ВВЭ) и температура пика клейстеризации (ТПК)), определяющих хлебопекарные качества зерна озимой ржи, для возможного улучшения их методами селекции. Рассчитывали экологическое варьирование (CV), фенотипическую стабильность (SF) и экологическую пластичность (b_i) 10 сортов озимой ржи, выращенных в широком диапазоне погодных условий, сложившихся в 2015–2024 гг., по величинам этих показателей. Испытания проводили на делянках 12 м² в трехкратной повторности при норме посева 500 семян на 1 м². Наиболее высоким качеством зерна характеризовалась популяция ГК-494вв, которая предварительно была отселектирована на высокую вязкость водного экстракта зернового шрота. По признаку ЧП она выделялась относительно низким коэффициентом экологического варьирования (CV=27,7 %), имела более высокую фенотипическую стабильность (SF=2,5) и слабо реагировала на условия выращивания ($b_i=0,81$). Признаки ЧП и ВА сильно варьировали по годам, а потому оказались фенотипически нестабильными и низко наследуемыми ($H^2=0,20$ и $H^2=0,34$). Экологически более устойчивым был признак ВВЭ, который хорошо наследуется ($H^2=0,64$) и может служить надежным ориентиром в селекции на улучшение качества зерна. Установлена отрицательная корреляция между признаками качества и параметрами адаптивности CV и SF. Наиболее сильной она была между ЧП и CV ($r=-0,84 \pm 0,10$). Целенаправленная селекция на высокое число падения будет коррелятивно повышать экологическую устойчивость и фенотипическую стабильность признаков качества зерна.

INTEGRAL ASSESSMENT OF THE ADAPTIVE POTENTIAL OF WINTER RYE VARIETIES BASED ON TECHNOLOGICAL TRAITS OF GRAIN QUALITY

A. A. Goncharenko, **A. V. Makarov**, **N. V. Tsygankova**, **V. N. Tochilin**,
N. A. Klochko, **M. S. Goncharenko**, **A. K. Kostin**, **P. A. Plotnikov**

Federal Research Center «Nemchinovka»,
143026, Moskovskaya obl., Odintsovskii r-n, pos. Novoivanovskoe, ul. Agrokhimikov, 6
E-mail: goncharenko05@mail.ru

The results of a comparative study of 10 varieties of winter rye grown in a wide range of weather conditions in 2015–2024 are presented. The aim of the study was to study the ecological variation (CV), phenotypic stability (PS), and ecological plasticity (BI) of four technological traits: falling number (FN), amylogram height (AH), aqueous extract viscosity (AEV), and gelatinization peak temperature (GPT). A comparative test was carried out on plots of 12 m² in a triple repetition with a seeding rate of 500 grains per 1 m². The highest grain quality was found in the GC-494hv population, which was previously screened for the high viscosity of the aqueous extract of the grain meal. On the trait FN this population was distinguished by a relatively low coefficient of ecological variation (CV=27.7 %), had higher phenotypic stability (PS=2.5) and was characterized by increased buffering to various weather conditions ($b_i=0.81$). It was shown that the traits of FN and AH varied greatly over the years, and therefore turned out to be phenotypically unstable and low-heritable ($H^2=0.20$ and $H^2=0.34$). The trait AEV turned out to be more environmentally stable, which is highly inherited ($H^2=0.64$) and can serve as a reliable guideline for grain quality improvement. A negative correlation has been established between the quality characteristics and the adaptability parameters CV and PS. This correlation was most strongly manifested between FN and CV ($r=-0.84 \pm 0.10$). It is concluded that targeted selection for a high falling number will correlatively increase environmental sustainability and phenotypic stability of grain quality characteristics.

Ключевые слова: озимая рожь, сорт, признак, варьирование, фенотипическая стабильность, экологическая пластичность, качество зерна.

Keywords: winter rye, variety, trait, variation, phenotypic stability, ecological plasticity, quality of grain.

Озимая рожь отличается от пшеницы более слабым селекционным прогрессом в улучшении многих технологических признаков качества зерна. Наиболее важными из них считают число падения, высоту амилограммы, вязкость водного экстракта зернового шрота, температуру пика клейстеризации крахмала [1]. Объясняют это тем, что рожь характеризуется относительно непродолжительным периодом покоя в фазе созревания зерна (12...15 дней) и во влажные годы

склонна к прорастанию зерна в колосе [2]. По этой причине многие признаки качества зерна сильно варьируют [3, 4], что находит свое отражение на рынке, где продукцию ржи из-за худшего качества реализуют по более низкой цене. По международному стандарту зерно этой культуры считают качественным, если максимальное число падения составляет не менее 200 с, а пик вязкости по амилографу – 400 е.а. [5]. Рожь с такими показателями может служить улучшителем для зерна более низкого

качества. В России согласно ГОСТ 16990-2017 зерно культуры подразделяют на 4 класса: 1-й класс – число падения более 200 с, 2-й класс – 141...200 с, 3-й класс – 80...140 с, 4-й класс – менее 80 с [6]. Зерно 4-го класса считают непригодным для хлебопечения. Во многих регионах РФ, особенно в Нечерноземной зоне, вырастить зерно ржи с высоким числом падения (на уровне 160...180 с) очень трудно из-за неблагоприятных погодных условий в период уборки [7, 8, 9], что вызывает необходимость селекционного улучшения сортов ржи по этому признаку.

По современным представлениям хлебопекарные качества зерна озимой ржи зависят от состояния углеводно-амилазного комплекса зерна [10]. Поэтому главная задача при селекции культуры состоит в оптимизации его основных параметров, с тем чтобы не допустить не только видимого, но и латентного прорастания зерна в колосе в период созревания [11]. Это достигается путем создания сортов с высоким числом падения. Первые исследования в селекции ржи на устойчивость к прорастанию зерна в колосе были начаты в Швеции в 1958 г. [12]. Они завершились созданием устойчивого к прорастанию сорта Отелло, у которого число падения достигало 200 с и было на 30 с выше, чем у исходного сорта. Этот сорт оказался более высокорослым и менее устойчивым к полеганию. Однако из-за высокой устойчивости к прорастанию зерна в колосе его стали выращивать в северо-западной части Швеции, где рожь из-за сильного прорастания раньше не возделывали.

В РФ целенаправленную селекцию озимой ржи на высокое число падения ведут с 1973 г. в Федеральном исследовательском центре «Немчиновка» [1]. Сначала проводили отбор по методу резервов на уровне отдельных растений (1973–1985 гг.), затем на уровне семей (1986–1996 гг.). В результате был создан сорт Альфа, у которого число падения в среднем за 2001–2010 гг. составило 241 с, что было выше стандартного сорта Восход 2 на 75 с. Кроме того, новый сорт отличался более высокой температурой пика клейстеризации крахмала (на 6,5 °C), характеризовался лучшей формоустойчивостью теста и качеством хлебного мякиша. Однако по урожайности он не имел существенных преимуществ и причиной тому была мелкозерность.

Крахмал, белки и пентозаны – основные биохимические компоненты зерна ржи, от которых зависит его качество [13]. Эти вещества обладают свойством набухания при смешивании с водой, что делает ржаную муку пригодной для производства хлеба. Зерно ржи, в сравнении с пшеничным, содержит меньше белка, но многократно превосходит его по содержанию пентозанов [14], которые играют важную роль в приготовлении ржаного теста [15]. Для оценки их количественного содержания были разработаны косвенные методы, основанные на измерении относительной вязкости водного экстракта (ВВЭ) зернового шрота с использованием высокоточных вискозиметров [16], а также обнаружена высокая корреляция величины этого показателя с максимальным набуханием теста ($r=0,94$), температурой пика клейстеризации ($r=0,72$) и числом падения ($r=0,82$) [17]. Изучение различных сортов ржи показало, что мелкозерная фракция зерна содержит значительно больше пентозанов, чем крупнозерная [18]. Имеются сведения о том [19], что при селекции озимой ржи на высокую ВВЭ можно коррелятивно увеличить другие признаки качества. В итоге было показано [20], что признак ВВЭ, наряду с числом падения и высотой амилограммы, – важный критерий при оценке хлебопекарных качеств ржаной муки и его

необходимо использовать в селекции на целевое использование.

К важной проблеме в селекции относят то, что все перечисленные технологические признаки сильно варьируют под влиянием погодных факторов в период созревания зерна [21]. Считают [22], что преодолеть их отрицательные последствия можно путем создания экологически адаптивных сортов и гибридов. Поэтому важно учитывать не только степень фенотипической выраженности признаков у создаваемых сортов, но и характер их адаптивных реакций при выращивании в различных экологических условиях [23].

Цель исследований – оценка параметров адаптивности основных технологических признаков (число падения, высота амилограммы, вязкость водного экстракта и температура пика клейстеризации), определяющих хлебопекарные качества зерна озимой ржи, для возможного улучшения их методами селекции.

Методика. Исходным материалом для исследований служили 10 сортообразцов озимой ржи, в том числе 4 районированных сорта (Татьяна, Московская 12, Московская 15, Московская 18) и 6 перспективных популяций (ЖЗ-760, ГК-2701, ГК-796, ГК-785, ГК-644 и ГК-494вв). Их сравнительное испытание проводили в 2015–2024 гг. на опытном поле Федерального исследовательского центра «Немчиновка» (Московская обл.) на делянках площадью 12 м² в трехкратной повторности при норме высева 500 семян на 1 м². Почва опытного участка – дерново-подзолистая, суглинистая. Содержание гумуса (по Тюрину) составляет 2,1 %, pH солевой вытяжки в слое почвы 0...20 см – 6,6 ед., содержание подвижных форм P₂O₅ и K₂O (по Кирсанову) находилось в диапазонах 101...150 мг/кг и 81...120 мг/кг соответственно.

Качество зерна оценивали по 4 технологическим признакам – число падения (ЧП), пик высоты амилограммы (ВА), относительная вязкость водного экстракта (ВВЭ) зернового шрота и температурный пик клейстеризации (ТПК).

Число падения определяли на приборе Хагберга-Пертена, пик высоты амилограммы и температуру пика клейстеризации – на амилографе Брабендера. Относительную вязкость водного экстракта зернового шрота измеряли в сантиПуазах (сП) на вискозиметре VT5L (Германия) по ранее разработанной методике [1].

Компоненты дисперсий генотипической и экологической изменчивости, а также коэффициенты наследуемости h^2 рассчитывали по руководству А. В. Смиряева и др. [24]. Для оценки экологической устойчивости признака по годам использовали коэффициент экологической вариации CV , выраженный в процентах. Чем ниже величина этого показателя, тем выше экологическая устойчивость признака. Способность генотипа создавать узкий (или широкий) диапазон фенотипов в меняющихся условиях среды оценивали по «фактору стабильности» (SF), предложенному D. Lewis [25]. Экологическую пластичность сортов оценивали по S. A. Eberhart и W. A. Russell [26], рассчитывая коэффициент линейной регрессии b_i , в качестве меры отзывчивости генотипа на изменяющиеся метеоусловия года и стабильность признака использовали дисперсию S^2d_i , которая характеризует степень отклонения фактической величины признака от теоретически рассчитанной.

Существенное влияние на размах признаков качества зерна оказывали метеоусловия, которые в годы исследований значительно различались. Наиболее неблагоприятные условия для формирования зерна высокого качества сложились в 2019 г., когда из-за обильных

осадков (85,8 мм) и прохладной погоды в июле посевы рано полегли (14 июля) и в таком состоянии находились до самой уборки (30 июля). Сходные условия отмечали в 2018, 2020 и 2023 гг., когда дождливая погода в июле и частичное полегание стали причиной сильного варьирования изучаемых признаков у всех испытываемых сортов.

Наиболее благоприятные условия для формирования высококачественного зерна сложились в 2021, 2022 и 2024 гг., когда в июле осадков выпало меньше многолетней нормы (соответственно 44,0 %, 73,5 % и 69,6 %), посевы не полегли до самой уборки, а налив и созревание зерна проходили преимущественно в теплую и сухую погоду.

В остальные годы (2015, 2016, 2017 гг.) сумма осадков в июне и июле находилась на уровне многолетней нормы (соответственно 75 мм и 85 мм), поэтому устойчивость растений к полеганию была сравнительно высокой (от 4 до 8 баллов), что положительно сказалось на качестве зерна (число падения не опускалось ниже 150 с).

Результаты и обсуждение. Наиболее неблагоприятные погодные условия для формирования зерна высокого качества сложились в 2019 г. Величины показателей признаков качества в этом году были самыми низкими и в среднем по сортам по числу падения составляли 79 с, по высоте амилограммы – 137 е.а., по вязкости водного экстракта – 4,8 сП, по температуре клейстеризации – 56,1 °С (табл. 1). Наоборот, в 2021, 2022 и 2024 гг. метеоусловия в период налива зерна способствовали формированию относительно крупного зерна с наибольшей высотой амилограммой (405...565 е.а.), вязкостью водного экстракта (5,3...6,2 сП), числом падения (237...288 с) и температурой пика клейстеризации (64,3...74,5 °С).

Табл. 1. Влияние погодных условий года на технологические признаки качества зерна (среднее по 10 сортам)

Показатель	Год										
	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	
Число падения, с	205	180	269	145	79	169	288	237	96	252	
Высота амилограммы, е.а.	232	333	379	229	137	279	460	405	278	565	
Вязкость водного экстракта, сП	5,5	4,9	4,6	4,6	4,8	4,4	6,2	5,4	5,2	5,3	
Температура пика клейстеризации, °С	64,1	62,3	63,4	57,1	56,1	58,9	64,3	70,0	64,2	74,5	

По каждому признаку число лет с благоприятными (положительные индексы условий среды) и неблагоприятными (отрицательные индексы условий среды)

Табл. 2. Индексы погодных условий года (I_г) при формировании признаков качества зерна озимой ржи (n=10 сортов)

Показатель	Год									
	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024
Число падения, с	13,4	-12,2	76,9	-47,4	-112,5	-23,4	96,4	45,4	-96,5	59,8
Высота амилограммы, е.а.	-98,0	3,2	49,6	-100,9	-192,4	-50,4	130,6	75	-52,3	235,6
Вязкость водного экстракта, сП	0,36	-0,22	-0,54	-0,54	-0,23	-0,70	1,19	0,34	0,12	0,18
Температура пика клейстеризации. °С	0,63	-1,22	-0,17	-6,42	-7,46	-4,65	0,76	6,49	0,63	11,46

условиями для формирования качества зерна было одинаковым и составило 5 из 10 (табл. 2). Можно предположить, что вероятность неблагоприятной погоды для формирования качественного зерна в период уборки озимой ржи в Московской области составляет 50 %.

В целом следует отметить, что разница между сортами по отдельным признакам была незначительной, основной причиной их варьирования служили не генотипические различия между сортами, а метеоусловия года выращивания. В то же время размах фенотипической изменчивости изучаемых признаков под влиянием экологических факторов был неоднозначным. Наиболее сильное варьирование по годам наблюдали по высоте амилограммы (в среднем в 4,1 раза) и числу падения (в 3,7 раза), тогда как по вязкости водного экстракта и температуре пика клейстеризации оно было заметно ниже (соответственно в 1,7 и 1,3 раза).

Хотя изучаемые сорта значительно различались между собой по отдельным признакам качества, наиболее высокую их выраженность отмечали у популяции ГК-494вв. В среднем за годы исследований число падения у нее составило 227 с, высота амилограммы – 411 е.а., вязкость водного экстракта – 10,7 сП, температура пика клейстеризации – 64,6 °С (табл. 3). Это указывает на высокие реологические свойства теста из муки этой популяции, по сравнению с другими сортами ржи. Ни одна другая популяция в исследуемом наборе таким сильным проявлением изучаемых признаков не обладала. Самые низкие показатели качества зафиксированы у сорта Татьяна (ЧП – 169 с, ВА – 276 е.а., ТПК – 62,1 °С). Сходную с этим сортом характеристику можно дать популяции ГК-785, которая на фоне других выделялась низкой вязкостью водного экстракта зернового шрота (3,7 сП).

Высокие показатели качества зерна популяции ГК-494вв связаны с ее происхождением. Она получена в результате ассортативного скрещивания двух сортов-бразов ржи, предварительно прошедших интенсивный и многократный (10 циклов) целенаправленный отбор генотипов с высокой вязкостью водного экстракта зернового шрота [27]. В результате она унаследовала от своих родителей высокий потенциал ВВЭ, который за годы исследований в среднем был равен 10,7 сП, что в 2...3 раза выше, в сравнении с другими сортами. В процессе селекции коррелятивно улучшились и другие признаки качества этой популяции, по которым отбор изначально не проводили. Наибольший селекционный сдвиг произошел по числу падения, высоте амилограммы, а также температуре пика клейстеризации. Коррелятивное улучшение признака ТПК методами селекции особенно важно, так как его считают лучшим критерием активности фермента альфа-амилазы и устойчивости крахмальных зерен к «амилазной атаке» [2]. Благодаря этому высоковязкая популяция ГК-494вв по числу падения устойчиво лидировала над другими сортами во все годы испытаний. Исключение составили лишь 2020 и 2024 гг., когда из-за полегания она значительно уступила свое лидерство более устойчивому сорту Московская 12 (соответственно на 10 с и 33 с). Остальные популяции, не подвергавшиеся целенаправленной селекции на высокую ВВЭ, продемонстрировали сравнительно слабую межсортную дифференциацию по изучаемым признакам.

На основании полученных данных можно утверждать, что высокий потенциал ВВЭ – важный селекционный признак, с помощью которого можно коррелятивно улучшать другие технологические свойства зерна ржи. Обусловлено это тем, что величина ВВЭ тесно коррелирует ($r=0,97$) с содержанием водорастворимых пен-

Табл. 3. Размах варьирования признаков под влиянием погодных условий (2015–2024 гг.)

Сорт	min	max	Среднее
Число падения, с			
Татьяна	70	257	169 ± 23
Московская 12	70	281	207 ± 22
Московская 15	72	289	179 ± 23
Московская 18	72	285	188 ± 24
ГК- 2701	79	302	191 ± 25
ГК-796	72	324	198 ± 25
ЖЗ-760	98	284	193 ± 22
ГК-785	72	302	185 ± 27
ГК-644	68	287	182 ± 25
ГК-494вв	118	301	227 ± 20
Высота амилограммы, с.а.			
Татьяна	70	575	276 ± 47
Московская 12	130	547	342 ± 40
Московская 15	110	511	314 ± 39
Московская 18	120	643	321 ± 45
ГК- 2701	140	537	325 ± 36
ГК-796	135	460	337 ± 44
ЖЗ-760	190	577	345 ± 39
ГК-785	150	672	329 ± 49
ГК-644	140	520	299 ± 36
ГК-494вв	190	613	411 ± 47
Вязкость ВЭ, сП			
Татьяна	4,1	6,4	5,1 ± 0,28
Московская 12	4,3	6,3	5,1 ± 0,24
Московская 15	3,7	6	4,4 ± 0,20
Московская 18	3,7	7,1	4,7 ± 0,32
ГК- 2701	3	5,5	4,3 ± 0,27
ГК-796	3,4	5,5	4,4 ± 0,26
ЖЗ-760	3,2	4,8	4,0 ± 0,14
ГК-785	3,2	4,5	3,7 ± 0,12
ГК-644	3,7	5,6	4,5 ± 0,20
ГК-494вв	7,4	14,2	10,7 ± 0,66
Температура пика клейстеризации, °С			
Татьяна	55,8	70,3	62,1 ± 1,7
Московская 12	55,8	75,9	63,8 ± 2,0
Московская 15	55	74,1	63,1 ± 1,7
Московская 18	55,8	74,3	63,1 ± 1,7
ГК-2701	57,3	76,1	64,3 ± 2,0
ГК-796	55,8	74,1	63,9 ± 1,7
ЖЗ-760	56,5	74,3	63,6 ± 1,7
ГК-785	57,3	74,6	63,6 ± 1,7
ГК-644	54,3	74	62,9 ± 1,7
ГК-494вв	56,7	74,8	64,6 ± 1,8

тозанов [16], которые связывают воду при замесе теста и делают его более формоустойчивым [14].

С селекционной точки зрения большой интерес представляет разложение общей фенотипической изменчивости изучаемых признаков на экологически и генотипически обусловленные компоненты. Если признак характеризуется сильной экологической зависимостью, то для него свойственно высокое фенотипическое варьирование и отзывчивость генотипа на изменение метеоусловий года. Об этом можно судить по величине коэффициента наследуемости H^2 , косвенно отражающего уровень адаптивной способности генотипа. На высокую достоверность H^2 указывает значительное превышение $F_{\text{факт}}$ над $F_{\text{табл.}}$ по всем изучаемым призна-

Табл. 4. Компоненты дисперсии и коэффициенты наследуемости различных признаков качества зерна

Признак	Компонент дисперсии			H^2	$F_{\text{факт.}}$
	общая фенотипическая (БPh ²)	средовая (Бс ²)	генотипическая (Бг ²)		
Температура пика клейстеризации	120,4	32,4	8,8	0,21	3,72*
Число падения	2767,5	721,9	205,4	0,22	3,83*
Высота амилограммы	11188	1835	935	0,34	6,10*
Вязкость водного экстракта	36,8	1,99	3,59	0,64	18,40*

*коэффициенты наследуемости H^2 достоверны при 5 %-ном уровне значимости.

кам ($F_{\text{факт.}} = 3,72 \dots 18,4$ при $F_{\text{табл.}} = 2,15$), однако между ними имелись значительные различия. Наибольшая доля генотипической дисперсии в общей фенотипической (табл. 4) отмечена по признаку ВВЭ ($H^2 = 0,64$). Менее высокой она была по высоте амилограммы ($H^2 = 0,34$), числу падения ($H^2 = 0,22$) и температуре пика клейстеризации ($H^2 = 0,21$), что и следовало ожидать, учитывая их высокую средовую дисперсию. Известно [28], что отбор по высоко наследуемым и экологически устойчивым признакам более эффективен, чем по низко наследуемым. Следовательно, селекция на высокую экспрессию признака ВВЭ будет более результативной, чем отбор по признакам ЧП, ВА и ТПК.

Большой интерес представляет оценка экологической устойчивости сортов ржи по признакам качества зерна. Прежде всего важно знать размах и направленность адаптивных реакций сорта при возделывании его в различных экологических условиях [28]. Оценку изучаемых сортов ржи проводили по четырем параметрам адаптивности (CV , SF , b_i и S^2d_i), которые характеризуют разные грани их экологической буферности. Чем меньше параметры CV и SF , тем выше экологическая устойчивость и фенотипическая стабильность признака и тем ниже его отзывчивость на изменяющиеся погодные условия года, которую оценивают по параметрам пластичности b_i и вариансы стабильности S^2d_i .

Наибольший размах экологического варьирования наблюдали по высоте амилограммы ($CV = 35,4 \% \dots 53,8 \%$) и числу падения ($CV = 27,7 \% \dots 45,5 \%$) (табл. 5). Наоборот, фенотипически более стабильными по годам были признаки ВВЭ ($CV = 10,4 \% \dots 21,8 \%$) и ТПК ($CV = 8,3 \% \dots 10,0 \%$). Сходным образом изучаемые показатели различались по фактору стабильности SF : по признакам ЧП и ВА величина этого показателя варьировала на уровне соответственно $2,5 \dots 4,5$ и $3,0 \dots 5,5$, а по признакам ВВЭ и ТПК – $1,4 \dots 1,9$ и $1,3 \dots 1,4$. Из этого следует, что при селекции ржи на качество отбор предпочтительно проводить по признакам ВВЭ и ТПК, так как они экологически более устойчивы и фенотипически более стабильны.

Среди изучаемых сортов наиболее контрастно параметры адаптивности просматривались у высоко-вязкой популяции ГК-494вв, которая по признаку ЧП выделялась относительно низким коэффициентом экологического варьирования ($CV = 27,7 \%$), имела более высокую фенотипическую стабильность ($SF = 2,5$) и отличалась повышенной буферностью признака при испытании в различных экологических условиях ($b_i = 0,81$). Сходную характеристику этой популяции можно дать и по высоте амилограммы. По этому признаку она отличалась относительно низкой вариацией по годам ($CV = 35,4 \%$) и была лучше других сортов по фактору стабильности ($SF = 3,1$). По норме реакции на изменяющиеся метеоусловия года она находилась на уровне других сортов ($b_i = 1,04$).

Следует отметить, что величины ЧП и ВА отрицательно коррелировали с параметрами адаптивности CV и SF . Наиболее сильно эта связь проявлялась между признаками ЧП и CV ($r = -0,84 \pm 0,10$). В контексте обсуждаемой проблемы это значит, что целенаправленная селекция на высокое число падения будет способствовать созданию экологически устойчивых и фенотипически стабильных сортов ржи. Если бы такая корреляция была положительной, то генотипы демонстрировали бы повышенную отзывчивость на перепад средовых факторов, что в селекционном отношении нежелательно, так как высокая пластичность будет снижать фенотипическую стабильность признаков. Этот тезис вполне

Табл. 5. Основные параметры экологической изменчивости и пластичности различных сортов озимой ржи

Показатель	Татьяна	Московская 12	Московская 15	Московская 18	ГК-2701	ГК-796	ЖЗ-760	ГК-785	ГК-644	ГК-494вв
Число падений										
CV	42,2	33,1	40,7	39,9	41	40,2	35,8	45,5	43,8	27,7
SF	4,1	4	4	3,9	3,8	4,5	3,2	4,2	4,2	2,5
b	0,94	0,91	0,98	1,03	1,06	1,1	0,95	1,13	1,1	0,81
S ² di	633	608	414	270	478	223	167	531	236	619
Высота амилограммы										
CV	53,8	37,6	39,4	44,3	36,4	41,6	36,1	47,5	37,9	35,4
SF	5	4,2	4,6	5,3	3,8	4,2	3	4,5	3,7	3,1
b	1,11	0,93	0,92	1,08	0,86	0,99	0,96	1,2	0,9	1,04
S ² di	2917	3241	1995	2000	1547	3725	2551	1740	1463	4705
Вязкость водного экстракта										
CV	17,6	15,1	14,8	21,8	20	21,9	11,5	10,4	14,2	19,5
SF	1,6	1,5	1,6	1,9	1,8	1,6	1,4	1,4	1,5	1,4
b	1,13	1,04	0,96	1,22	1,26	0,97	0,74	0,88	0,83	1,19
S ² di	0,3	0,35	0,14	0,63	0,25	0,28	0,17	0,16	0,21	2,81
Температура пика клейстеризации										
CV	8,3	10	8,5	8,6	9,8	8,7	8,7	8,4	8,7	9,2
SF	1,3	1,4	1,3	1,3	1,3	1,4	1,3	1,3	1,4	1,3
b	0,92	1,1	1,08	0,95	1,09	0,96	0,94	0,93	0,97	1,01
S ² di	0,71	1,24	0,6	1,03	1,02	1,05	0,61	0,65	0,72	1,79

соответствует заключению А. А. Жученко [23] о том, что широкая норма реакции в адаптивном потенциале сорта не должна доминировать над его экологической устойчивостью. Такие «прямолинейные» генотипы могут представлять интерес только в случае селекции адаптивных сортов применительно к конкретным, сугубо специфическим условиям.

Выводы. Основная причина фенотипического варьирования технологических признаков качества зерна озимой ржи – не генетические различия между испытываемыми сортами, а неблагоприятные метеоусловия в период созревания зерна, которые складывались в 50 % лет. Самый широкий размах варьирования отмечен по признакам ВА (в 4,1 раза) и ЧП (в 3,7 раза), тогда как по ВВЭ и ТПК он был значительно ниже (соответственно в 1,7 и 1,3 раза).

Среди изученных генотипов лучшей по качеству зерна была популяция ГК-494вв, отселектированная на высокую вязкость водного экстракта зернового шрота. Она стабильно выделялась высоким качеством зерна в различные по метеоусловиям годы. Признак ЧП у этой популяции варьировал меньше, чем у других ($CV=27,7\%$), имел более высокую фенотипическую стабильность ($SF=2,5$) и отличался повышенной буферностью при испытании в различных экологических условиях ($b_i=0,81$). Признаки ЧП и ВА были фенотипически нестабильными и низко наследуемыми ($H^2=0,20$ и $H^2=0,34$). Наоборот, признак ВВЭ экологически более устойчив и хорошо наследуется ($H^2=0,64$), что позволяет рассчитывать на эффективный сдвиг в процессе селекции. Установлена отрицательная корреляция технологических признаков качества с параметрами адаптивности CV и SF . В селекционном аспекте это значит, что целенаправленная селекция на высокую выраженность признака ЧП будет способствовать повышению экологической устойчивости и фенотипической стабильности создаваемых сортов по качеству зерна.

ФИНАНСИРОВАНИЕ РАБОТЫ.

Данная работа финансировалась за счет средств бюджета Федерального исследовательского центра «Немчиновка». Никаких дополнительных грантов на проведение или руководство данным исследованием получено не было.

СОБЛЮДЕНИЕ ЭТИЧЕСКИХ СТАНДАРТОВ.

В данной работе отсутствуют исследования человека или животных.

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ.

Авторы данной работы заявляют, что у них нет конфликта интересов.

Литература.

1. Гончаренко А. А. Актуальные вопросы селекции озимой ржи. М.: ФГБНУ «Росинформагротех», 2014. 372 с.
2. Wehmann F., Geiger H. H., Lock A. Quantitative-genetic basis of sprouting resistance in rye // *Plant Breeding*. 1991. No. 106. P. 196–203.
3. Korzun V., Ponomareva M. L., Sorrells M. E. Economic and Academic Importance of Rye // *The Rye Genome* / eds. M. T. Rabanus-Wallace, N. Stein. *Compendium of Plant Genomes*. Springer: Cham, 2021. URL: https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-030-83383-1_1 (дата обращения: 20.12.2024). doi: 10.1007/978-3-030-83383-1_1
4. Breeding cereal rye (*Secale cereale*) for quality traits / L. J. Brzozowski, E. Szuleta, T. D. Phillips, et al. // *Crop Science*. 2023. Vol. 63(4). P. 1964–1987. doi: 10.1002/csc2.21022.
5. Древец Э., Зайбель В. Хлебопечение и другое использование ржи в мире // В кн. Рожь: производство, химия, технология. М.: Колос, 1980. С. 173–239.
6. ГОСТ-16990-2017. Рожь. Технические условия. М.: Стандартинформ, 2019. 8 с.
7. Сысуев В. А., Кедрова Л. И., Уткина Е. И. Значение озимой ржи для сохранения природного агроэкологического баланса и здоровья человека (обзор) // *Теоретическая и прикладная экология*. 2020. № 1. С. 14–20.
8. Селекция озимой ржи на качество зерна в условиях Красноярского края / В. Д. Кобылянский, О. В. Солодухина, М. А. Тимина и др. // *Вестник КрасГАУ*. 2017. № 5. С. 8–14.
9. Перспективные образцы озимой ржи для селекции кормовой ржи в условиях юго-западного Предуралья / А. Х. Шакирьянов, Н. И. Лещенко, И. М. Никонорова и др. // *Достижения науки и техники АПК*. 2019. Т. 33. № 8. С. 38–42.
10. Brummer J. M. Rye Flour // *Future of Flour – a Compendium of Flour Improvement*. Lüneburg: Verlagrmedia, 2006. 480 p.
11. Исмаилов Р. Р., Гайсина Л. Ф. Хлебопекарные качества зерна гибридов F1 озимой ржи // *Достижения науки и техники АПК*. 2015. Т. 29. № 1. С. 24–26.

12. Persson E. O. A result of amylase selection for sprouting resistance // *Cereal Commun.* 1976. Vol. 4. No. 2. P. 101–106.
13. Drews E. Results of multiyear research on the quality of rye used for bread production in the German Federal Republic // *Hodowla roslin, aklimatizacja i nasiennictwo.* 1975. T. 19. № 5–6. P. 633–639.
14. Weipert D. Pentosans as selection traits in rye breeding // *Vortr. Pflanzenzucht.* 1996. No. 35. P. 109–119.
15. Исмагилов Р. Р. Изменчивость содержания водорастворимых пентозанов в зерне озимой ржи // *Достижение науки и техники АПК.* 2012. № 6. С. 35–36.
16. Extract viscosity as an Indirect Assay for water-soluble Pentosan Content in Rye / D. Boros, R. R. Marquardt, B. A. Slominski, et al. // *Cereal Chem.* 1993. Vol. 70(5). P. 575–580.
17. Структурно-функциональная характеристика пентозанов муки и теста сортов озимой ржи / М. Л. Пономарева, С. Н. Пономарев, Г. С. Маннапова и др. // *Достижения науки и техники АПК.* 2019. Т. 33. № 8. С. 33–37. doi: 10.24411/0235-2451-2019-10807.
18. Показатели качества и фракционный состав зерна сортов озимой ржи по крупности в условиях Нижнего Поволжья / Н. Н. Нуржидина, Д. А. Жиганов, Т. Я. Ермолаева и др. // *Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции.* 2023. № 184 (4). С. 153–162. doi: 10.30901/2227-8834-2023-4-153-162.
19. Гончаренко А. А. Новые направления в селекции озимой ржи на целевое использование // *Зернобобовые и крупяные культуры.* 2016. № 2 (18). С. 25–32.
20. Фенотипическая оценка содержания пентозанов в ржаном шроте методом определения вязкости водного экстракта / М. Л. Пономарева, С. Н. Пономарев, Л. Ф. Гильмуллина и др. // *Достижения науки и техники АПК.* 2015. Т. 29. № 11. С. 32–35.
21. Информативность параметров качества зерна для селекции озимой ржи / И. В. Лыскова, Е. М. Лисицын, Т. В. Лыскова и др. // *Таврический вестник аграрной науки.* 2023. № 3.(35). С. 145–157. doi: 10.5281/zenodo.10141453.
22. Торон А. А., Чайкин В. В., Торон Е. А. Селекция озимой ржи в Центрально-Черноземном регионе России на повышение урожайности и адаптивности. Воронеж: Истоки, 2023. 440 с.
23. Жученко А. А. Эколого-генетические проблемы селекции растений // *Сельскохозяйственная биология.* 1990. № 3. С. 3–23.
24. Смирнов А. В., Мартынов С. П., Кильчевский А. В. Биометрия в генетике и селекции растений. М.: Издательство МСХА, 1992. 268 с.
25. Lewis D. Gene-environment interaction: A relationship between dominance, heterosis, phenotypic stability and variability // *Heredity.* 1954. No. 8. P. 333–356.
26. Eberhart S. A., Russell W. A. Stability parameters for comparing varieties // *Crop Sci.* 1966. No. 6. P. 36–40.
27. Многопараметрическая оценка качества зерна популяций озимой ржи с различной вязкостью водного экстракта / А. А. Гончаренко, В. Я. Черных, А. В. Макаров и др. // *Российская сельскохозяйственная наука.* 2022. № 1. С. 31–37.
28. Пономарева М. Л., Пономарев С. Н. Оптимизация параметров качества зерна для селекции озимой ржи // *Вавиловский журнал генетики и селекции.* 2019. Т. 23. № 3. С. 320–327.

Поступила в редакцию 24.02.2025
После доработки 12.03.2025
Принята к публикации 06.04.2025