

DOI 10.5281/zenodo.10141453

EDN XBVECS

УДК 633.14:664.746

Лыскова И. В., Лисицын Е.М., Лыскова Т. В., Шляхтина Е. А., Рылова О. Н.

ИНФОРМАТИВНОСТЬ ПАРАМЕТРОВ КАЧЕСТВА ЗЕРНА ДЛЯ СЕЛЕКЦИИ ОЗИМОЙ РЖИ

ФГБНУ «Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока имени Н. В. Рудницкого»

Реферат. Изучение информативности селекционных показателей и минимизация системы критериев, определяющих технологические свойства зерна, являются актуальными задачами селекции растений. В 2001–2021 гг. на Фалёнской селекционной станции – филиале ФГБНУ «Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока» (Кировская область РФ) проведены полевые и лабораторные исследования 15 сортов озимой ржи с целью оценки фенотипической изменчивости показателей качества зерна и выявления наиболее информативных показателей для селекции. Оценивали технологические, хлебопекарные и органолептические показатели зерна и хлебцев в соответствии с общепринятыми методиками. Методом анализа главных компонент выявлено, что показатели «натура зерна» и «масса 1000 зерен» не сопряжены с хлебопекарными свойствами и параметрами устойчивости к прорастанию зерна (коэффициенты корреляции статистически незначимы: $-0,117-0,528$ и $0,051-0,378$ соответственно). Показатель «эластичность» имел примерно равные факторные нагрузки во всех трех главных факторах ($0,551$; $0,516$ и $0,401$), то есть его нельзя четко отнести ни к одному из них. В парах параметров («объем хлеба», «масса 1000 зерен») / («общая хлебопекарная оценка», «цвет мякиша») и «поверхность хлеба» / «цвет корки» для каждого набора показателей требуется отдельная целенаправленная селекция, так как они контролируются разными ортогональными (независимыми) факторами. Параметры «общая хлебопекарная оценка», «пористость», «цвет мякиша» и «форма корки» принадлежат одному главному фактору, но два последних имеют меньшую факторную нагрузку ($13,38$; $14,27$; $9,89$ и $9,21$ соответственно), то есть могут быть исключены из анализа. Параметры «число падения», «высота амилограммы» и «температурный пик клейстеризации» тесно связаны друг с другом ($r = 0,837-0,916$) и имеют практически одинаковые факторные нагрузки ($0,843-0,914$), поэтому в селекционной работе предлагается использовать только параметр «высота амилограммы», как наиболее вариабельный по годам и сортам ($CV = 52,0$).

Ключевые слова: озимая рожь (*Secale cereale* L.), масса 1000 зерен, натура зерна, число падения, амилограмма, хлебопекарная оценка, органолептическая оценка, анализ главных компонент, биplot анализ.

Для цитирования: Лыскова И. В., Лисицын Е. М., Лыскова Т. В., Шляхтина Е. А., Рылова О. Н. Информативность параметров качества зерна для селекции озимой ржи // Таврический вестник аграрной науки. 2023. № 3 (35). С. 145–157. EDN: XBVECS. DOI: 10.5281/zenodo.10141453.

For citation: Lyskova I. V., Lisitsyn E. M., Lyskova T. V., Shlyakhtina E. A., Rylova O. N. Informativity of grain quality parameters for winter rye breeding // Taurida Herald of the Agrarian Sciences. 2023. No. 3(35). P. 145–157. EDN: XBVECS. DOI: 10.5281/zenodo.10141453.

Введение

Озимая рожь (*Secale cereale* L.) – многофункционально значимая сельскохозяйственная культура, которую используют в производстве кормов для животных, спирта и сырья для глубокой переработки, хлебопечении, поэтому важной задачей селекции при создании сортов хлебопекарного направления является

комплексное изучение качественных свойств зерна различных генотипов [1]. При этом возникает необходимость разработки новых направлений исследований и методических подходов к созданию сортов с высоким качеством зерна целевого назначения [2].

В ФГБНУ «Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока имени Н. В. Рудницкого» (ФАНЦ Северо-Востока) созданы адаптивные сорта озимой ржи для широкого ареала возделывания. В настоящее время в Госреестре селекционных достижений РФ находится восемь сортов с допуском к использованию в шести регионах страны. Наиболее востребованы в производстве сорта Фалёнская 4, Рушник, Флора и Графиня, возделываемые в 32 областях и республиках России. Создан первый в стране кислотоустойчивый сорт озимой ржи Кипрез, защищённый патентом 2019 г. Уникальность сортов ФАНЦ Северо-Востока заключается в том, что они сочетают биологические характеристики (высокую зимостойкость, стабильную продуктивность, устойчивость к полеганию, толерантность к основному лимитирующему урожайность заболеванию – снежной плесени) с высокими хлебопекарными свойствами [3].

В селекционной практике и в переработке зерна озимой ржи для оценки его качества используют достаточно много разных показателей. Согласно действующему Межгосударственному стандарту «Рожь. Технические условия» (ГОСТ 16990-2017), в число обязательных определений входят показатели натура зерна и число падения. Натурная масса зерна (натура) – признак, определяющий мукомольные достоинства зерна, он не связан непосредственно с хлебопекарной оценкой, но имеет прямое отношение к выходу муки. До середины XIX в. натура была единственным показателем качества зерна на мировом хлебном рынке [4]. Зерно озимой ржи с числом падения ниже 80 сек считают непригодным для хлебопечения. Такие показатели, как «число падения» и «вязкость суспензии», характеризуют устойчивость ржи к прорастанию зерна на корню [5, 6]. Показатель «масса 1000 зерен», характеризующий крупность зерна, в большей мере связан с его посевными свойствами. В то же время считают, что чем крупнее зерно, тем больше содержится в нем эндосперма и тем выше выход муки [7].

В последние десятилетия во всем мире повысились требования к качеству пищевых продуктов, в том числе хлебу, который должен сочетать в себе пользу для здоровья человека с привлекательными органолептическими свойствами [8]. Однако увеличение содержания в хлебе пищевых волокон (что считается одним из преимуществ ржаного хлеба [9]), потенциально может повысить пользу для здоровья, в то же время значительно изменяет вкусовые параметры и внешний вид хлеба, о чем говорят исследования зарубежных авторов. Так, более высокая концентрация пищевых волокон в пшенично-ржаном хлебе приводит к более высокой плотности текстуры, более высокой адгезионной способности и влажности пшенично-ржаного хлеба [10, 11]. С. Martin et al. [12] отмечали более темный цвет мякиша и уменьшение объема буханки хлеба, что может быть связано с более низким содержанием белка [13].

Система показателей качества зерна озимой ржи должна обеспечивать объективную оценку селекционных образцов при наименьших трудозатратах и расходе зерна на анализ. Изучение информативности используемых в селекционных программах показателей и минимизация на его основе системы критериев, определяющих технологические свойства зерна, являются актуальными задачами селекции озимой ржи. Говоря о необходимости вести селекцию озимой ржи в соответствии с требованиями рынка и оценивая органолептические показатели хлеба, такие, как «пористость», «эластичность», «цвет мякиша и корки», «объем хлеба» и др., авторы либо анализируют только органолептические показатели без учета технологических (например, [14]), либо (например, [2]) не делают никаких выводов о возможности использования этих показателей в ходе селекции.

Цель исследований – оценить фенотипическую изменчивость показателей качества зерна в почвенно-климатических условиях Кировской области и выявить наиболее информативные показатели для селекции сортов озимой ржи.

Материалы и методы исследований

Исследования проводили в 2001–2021 гг. на Фалёнской селекционной станции – филиале ФГБНУ ФАНЦ Северо-Востока (Кировская область РФ). Опытные поля расположены в восточном агропочвенном районе центральной климатической зоны Кировской области. Суммы активных температур, отражающие теплообеспеченность района исследований и необходимые для полного развития и созревания зерновых культур, находились в пределах, обусловленных географическим положением региона – 1700–1900 °С [15]. Показатель достиг максимума в 2010 г. и составил 2085 °С. Среднее за время исследований количество осадков составило 656 мм (от 512 до 827 мм), за период май – август (рисунок 1) – 253 мм (от 28 до 434 мм) при климатической норме 626 и 258 мм соответственно. В зимний период средняя высота снежного покрова составляла 80 см. Глубина промерзания почвы варьировала от 10 до 72 см, температура почвы на глубине узла кущения – от 0,0 до –3,0 °С.

Гидротермический коэффициент Селянинова, характеризующий степень увлажнения территории, за 2001–2020 гг. в период налива и созревания зерна озимой ржи (июль–первая декада августа) изменялся в широких пределах: от крайне засушливых (0,2 ед. в 2010 г.) до избыточно увлажненных (3,1 ед. в 2017 г.).

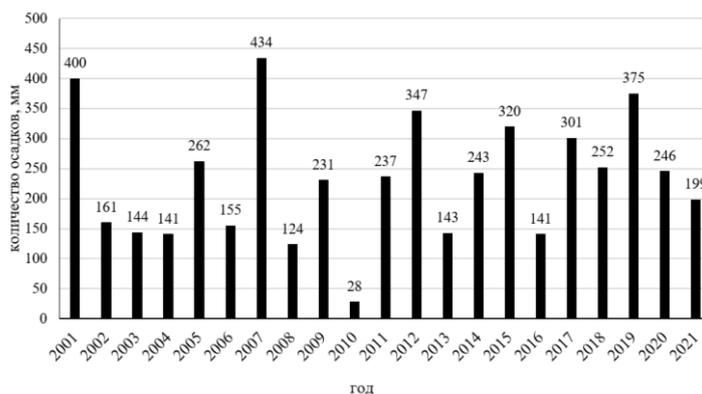


Рисунок 1 – Количество осадков за период исследований (май–август)

Опыт конкурсного сортоиспытания заложен рендомизированным методом в шести повторениях, учетная площадь делянки – 10 м². Почва опытного поля дерново-подзолистая среднесуглинистая, сформированная на покровных суглинках. Агрохимические показатели почвенных участков следующие: содержание подвижного фосфора – 272–316 мг/кг, обменного калия – 150–183 мг/кг (по Тюрину); кислотность солевой вытяжки – 5,0–5,2 ед. рН. Под предпосевную культивацию вносили минеральные удобрения (нитроаммофоска – N₂₇P₆K₆) в дозе 2 ц/га – рекомендуемую дозу минеральных удобрений для озимой ржи в условиях северо-востока Нечерноземной зоны России. Предшественник – чистый пар, норма высева – 6 млн всхожих семян на 1 га сеялкой ССФК-7, уборка проведена в фазе полной спелости зерна комбайном Сампо-130.

Материал для исследования – районированные сорта озимой ржи селекции ФАНЦ Северо-Востока: Батист, Вятка 2, Графиня, Дымка, Кировская 89, Рушник, Снежана, Фалёнская 4, Флора, и перспективные: Кипрез, Ниоба, Роса, Садко, Сара, Сармат.

Оценивали следующие параметры: массу 1000 зерен (МТЗ), натуру зерна (НЗ), число падения (ЧП), определяли на приборе Хагберга-Пертена Falling Number 1400), максимальную вязкость суспензии (оцениваемую по высоте амилограммы (ВА)) и

температурный пик клейстеризации (ТПК) (на амилографе Brabender) по соответствующим методикам [16]. Общая хлебопекарная оценка проведена из муки 60 % выхода (мельница Quadrumat Junior) ускоренным безопарным способом [16]. При органолептической оценке пробной выпечки хлебцев применяли четырехбалльную систему.

Статистическую обработку данных проводили, используя методы вариационной статистики (Microsoft Excel 2007), дисперсионного и корреляционного анализов (пакет программ AGROS версия 2.07), метод главных компонент с построением биplot графика (надстройка XLSTAT 2018.6.54644 для Microsoft Excel 2007). Так как часть исследуемых параметров (таких, как «натура зерна», «масса 1000 зерен» и др.) представляли собой количественные признаки, а другая часть – качественные (все показатели хлебопекарных качеств, оцениваемые в балльных шкалах), для расчета методом главных компонент использовали матрицу ранговых корреляций Спирмена. Статистическую значимость различий между вариантами опыта оценивали при уровне $p \leq 0,05$.

Результаты и их обсуждение

Параметры качества зерна озимой ржи имели разную степень варьирования за годы исследований. Так, межсортовая вариабельность параметра «масса 1000 зерен» в 2003, 2007 и 2020 гг. была ниже 7 %, а в 2005 г. составила 17,7 %. Натура зерна варьировала по испытанным сортам от 1,6 % в 2009 г. до 9,6 % в 2004 г. Наибольшим размахом межсортового варьирования характеризовались такие технологические параметры, как «число падения» (5,3 % в 2016 г., 62,3 % в 2005 г.) и «высота амилограммы» (минимум в 2017 г. составил 6,3 %, максимум – в 2005 г. – 59,4 %). Наиболее устойчивым параметром можно признать «температуру пика клейстеризации», показатели которого по сортам менялись от 0,6 % (2015 и 2019 гг.) до 9,8 % (2018 г.) (таблица 1).

Таблица 1 – Параметры качества зерна сортов озимой ржи

Год	Масса 1000 зерен, г	Натура зерна, г/л	Число падения, сек	Высота амилограммы, е.а.	ТПК, °С
2001	33,9 ± 0,9	684,4 ± 6,8	88,4 ± 4,7	156,2 ± 17,1	61,5 ± 0,2
2002	31,5 ± 1,0	708,4 ± 5,2	79,8 ± 4,3	335,6 ± 30,4	63,7 ± 0,3
2003	23,8 ± 0,4	649,8 ± 5,8	159,8 ± 9,0	849,0 ± 54,2	73,9 ± 0,5
2004	31,0 ± 0,7	653,8 ± 16,2	152,5 ± 8,6	577,3 ± 65,7	67,3 ± 0,5
2005	35,0 ± 1,6	696,0 ± 6,9	152,4 ± 24,5	458,0 ± 70,2	66,7 ± 1,1
2006	32,0 ± 0,7	660,4 ± 8,6	78,7 ± 6,3	321,0 ± 29,9	63,8 ± 0,3
2007	33,2 ± 0,6	667,6 ± 3,4	137,3 ± 4,2	309,6 ± 23,3	67,1 ± 0,2
2008	32,6 ± 1,1	680,9 ± 5,0	174,1 ± 6,9	558,6 ± 33,2	67,4 ± 0,5
2009	31,1 ± 0,7	653,1 ± 2,7	246,8 ± 9,0	651,3 ± 45,4	72,5 ± 0,5
2010	30,9 ± 1,0	726,7 ± 3,5	272,7 ± 6,6	902,3 ± 35,6	74,4 ± 0,3
2011	35,8 ± 1,1	705,3 ± 3,6	172,9 ± 10,5	488,9 ± 37,0	67,3 ± 0,3
2012	32,1 ± 1,0	700,2 ± 4,1	132,9 ± 5,5	217,1 ± 7,9	66,7 ± 0,2
2013	27,0 ± 0,7	714,5 ± 4,1	210,1 ± 8,7	781,4 ± 46,9	70,8 ± 0,5
2014	38,4 ± 0,7	703,6 ± 5,1	118,3 ± 7,6	415,7 ± 32,2	62,7 ± 0,2
2015	23,4 ± 0,6	625,9 ± 3,8	92,5 ± 2,4	268,3 ± 15,6	60,1 ± 0,1
2016	25,0 ± 0,8	684,4 ± 4,7	255,2 ± 3,5	761,2 ± 19,9	77,5 ± 0,3
2017	35,2 ± 0,7	670,5 ± 3,2	122,7 ± 4,4	355,5 ± 5,8	67,4 ± 0,3
2018	29,8 ± 0,6	690,4 ± 4,0	186,0 ± 8,2	499,3 ± 16,1	70,9 ± 1,8
2019	27,2 ± 0,7	649,8 ± 4,0	62,0 ± 3,0	155,0 ± 6,0	61,0 ± 0,1
2020	30,9 ± 0,4	689,1 ± 3,1	170,2 ± 5,0	452,2 ± 10,9	71,1 ± 0,2
2021	24,5 ± 0,7	693,5 ± 3,7	247,7 ± 6,7	1161,3 ± 38,6	73,9 ± 0,6
CV, %	12,3	3,8	39,4	52,0	7,1

Примечание. Представлены средние значения с ошибкой средней ($X \pm Sx$) по 15 сортам озимой ржи. ТПК – температура пика клейстеризации.

В целом, условия 2005 г. в наибольшей степени способствовали проявлению межсортовых отличий по параметрам «масса 1000 зерен», «число падения» и «высота амилограммы», тогда как в 2020 г. различия между сортами по большинству параметров были минимальны.

Коэффициенты вариации для отдельных сортов по годам (максимум–минимум) составили: «масса 1000 зёрен» – 4,5–12,0; «натура зерна» – 1,2–6,1; «число падения» – 4,9–35,9; «высота амилограммы» – 6,3–34,3; «температура пика клейстеризации» – 0,8–4,6 %.

Основное влияние на вариабельность изученных показателей оказывали условия года выращивания, тогда как доля влияния генотипа была значительно ниже, хотя статистически значима при $p \leq 0,05$ (таблица 2).

Коэффициенты парных корреляций между количеством осадков (июль и первая декада августа) и параметрами «число падения», «высота амилограммы» и «температура пика клейстеризации» были статистически значимы (при $p \leq 0,05$) и составили -0,52; -0,72; -0,46 соответственно.

Таблица 2 – Доля влияния генотипа, среды (год) и их взаимодействия на изменчивость признаков качества зерна озимой ржи (2001–2021 гг.)

Показатель	Доля влияния факторов, %		
	генотип	год	взаимодействие генотип × год
Масса 1000 зёрен	16,4	68,3	8,6
Натура зерна	12,3	76,1	6,5
Число падения	10,7	76,2	6,1
Высота амилограммы	7,8	82,5	5,6
Температура пика клейстеризации	5,1	86,2	3,8

Корреляционный анализ экспериментальных данных как параметрическими (коэффициент Пирсона), так и непараметрическими (коэффициент Спирмена) методами (таблица 3) показал, что в целом оценка коэффициентов парных корреляций между параметрами совпадала по величине при статистической значимости связей (например, между показателями «число падения» и «высота амилограммы» $r = 0,889$ и $0,837$ соответственно), и сильно различалась в случае статистической незначимости этих связей (например, между показателями «масса 1000 зерен» и «натура зерна» $r = 0,420$ и $0,156$).

Соответственно, так как при анализе методом главных компонент используется матрица парных корреляций, правильный выбор метода их расчета оказывает сильное влияние на конечный результат. В нашем исследовании далее работали с матрицей ранговых корреляций Спирмена, так как восемь из 14 использованных показателей (органолептическая оценка хлеба) оценивали в баллах, что является качественным параметром.

Система показателей качества зерна должна обеспечивать объективную оценку генотипов при наименьшем расходе зерна на анализ и при минимальных трудозатратах [17]. Чтобы выявить структурные связи комплекса из 13 используемых в селекции и хлебопечении показателей, оцененных при тестировании качества зерна озимой ржи, выявить наиболее информативные, интегральные и независимые признаки была использована процедура анализа главных компонент (таблица 4).

Оптимальное число факторов (в нашем случае три) выделено по критерию Кайзера (то есть, учитывали только факторы с собственным значением – eigenvalue – выше 1,0). Этот критерий является наиболее употребимым при выделении главных компонент по корреляционной матрице исходных данных. Факторную нагрузку признавали значимой, если ее абсолютное значение превышало 0,5 [18]. Чем выше значение факторной нагрузки, тем сильнее сила связи данного фактора с изучаемым признаком.

Таблица 3 – Коэффициенты парных корреляций признаков качества зерна озимой ржи

Признак	МТЗ	НЗ	ЧП	ВА	ТПК	ОХ	ОХП	ФК	ПОВ	ЦК	ЦМ	ПОР	Эл
МТЗ	1	0,156	-0,226	-0,323	-0,273	0,108	0,051	-0,098	0,378	-0,089	0,067	-0,091	0,251
НЗ	0,420	1	0,218	0,297	0,233	-0,420	0,284	0,483	0,241	0,243	0,528	0,342	-0,117
ЧП	-0,078	0,312	1	0,837*	0,916*	-0,029	0,798*	0,702*	0,172	0,672*	0,601*	0,891*	0,474
ВА	-0,154	0,353	0,889*	1	0,848*	-0,059	0,789*	0,564*	0,103	0,763*	0,723*	0,903*	0,410
ТПК	-0,046	0,369	0,945*	0,852*	1	-0,119	0,696*	0,542*	0,138	0,548*	0,585*	0,809*	0,347
ОХ	-0,168	-0,513	-0,167	-0,100	-0,265	1	0,116	-0,091	0,172	-0,075	0,005	-0,021	0,274
ОХП	0,156	0,339	0,756*	0,739*	0,653*	0,126	1	0,739*	0,310	0,710*	0,811*	0,891*	0,725*
ФК	0,018	0,524*	0,748*	0,614*	0,631*	-0,221	0,785*	1	0,349	0,556*	0,582*	0,745*	0,252
ПОВ	0,301	0,211	0,106	0,038	0,052	0,065	0,291	0,343	1	-0,264	0,260	0,364	0,288
ЦК	0,111	0,312	0,695*	0,757*	0,589*	0,022	0,771*	0,568*	-0,264	1	0,560*	0,727*	0,403
ЦМ	0,248	0,495	0,603*	0,684*	0,574*	0,098	0,798*	0,585*	0,246	0,591*	1	0,737*	0,340
ПОР	0,072	0,365	0,873*	0,883*	0,766*	-0,032	0,908*	0,763*	0,362	0,733*	0,728*	1	0,543*
ЭЛ	0,203	-0,135	0,108	0,084	0,036	0,348	0,587*	0,186	0,265	0,283	0,257	0,379	1

Примечание. МТЗ – масса 1000 зёрен, НЗ – натура зерна, ЧП – число падения, ВА – высота амилограммы, ТПК – температура пика клейстеризации, ОХ – объём хлеба, ФК – форма корки, ПОВ – поверхность, ЦК – цвет корки, ЦМ – цвет мякиша, ПОР – пористость, Эл – эластичность, ОХП – общая хлебопекарная оценка. * – коэффициенты, статистически значимые при $p \leq 0,05$. Выше диагонали – коэффициенты ранговой корреляции Спирмена, ниже – коэффициенты парной корреляции Пирсона.

Таблица 4 – Факторные нагрузки показателей качества зерна озимой ржи исследованного набора сортов (2001 – 2021 гг.)

Показатель	Главные факторы			Вклад показателей в факторы, %		
	1	2	3	1	2	3
Масса 1000 зерен, г	-0,101	0,742	0,320	0,154	29,601	6,365
Натура зерна, г/л	0,402	-0,078	0,824	2,453	0,330	42,238
Число падения, с	0,914	-0,121	-0,152	12,650	0,791	1,441
Высота амилограммы, е.а.	0,913	-0,225	-0,126	12,627	2,709	0,982
ТПК, °С	0,843	-0,220	-0,102	10,761	2,593	0,652
Объём хлеба, мм	-0,035	0,538	-0,593	0,019	15,529	21,820
Общая х/п оценка, балл	0,940	0,226	-0,095	13,382	2,744	0,559
Форма корки, балл	0,780	0,008	0,261	9,212	0,004	4,221
Поверхность хлеба, балл	0,268	0,711	0,336	1,092	27,179	7,036
Цвет корки, балл	0,766	-0,256	-0,164	8,899	3,527	1,670
Цвет мякиша, балл	0,808	0,102	0,220	9,888	0,554	2,996
Пористость, балл	0,971	0,048	-0,016	14,271	0,126	0,016
Эластичность, балл	0,551	0,516	-0,401	4,592	14,314	10,005
Дисперсия	6,601	1,862	1,609	-	-	-
Дисперсия, %	50,774	14,326	12,377	-	-	-
Накопленная дисперсия	50,774	65,100	77,477	-	-	-

Для визуализации и дальнейшего анализа взаимосвязи параметров оценки был построен биплот-график в системе двух первых факторов (рисунок 2).

Низкие коэффициенты вариации параметров натура зерна и ТПК по годам исследования и между сортами могут свидетельствовать об их генетической и экологической стабильности в исследуемом наборе сортов озимой ржи.

Озимая рожь часто подвержена прорастанию на корню, поэтому большое значение имеет оценка α -амилазной активности через связанные с ней параметры (в частности, число падения, высота амилограммы и температурный пик клейстеризации) [19, 20]. Эти же параметры в значительной степени влияют на органолептические свойства хлеба [21]. Как следует из данных таблицы 2, показатели число падения и

высота амилограммы сильно зависели от условий года, на что указывает высокая доля влияния этого фактора (около 76 %). Это совпадает с выводами, сделанными при анализе других наборов сортов в разных природно-климатических условиях [22–24].

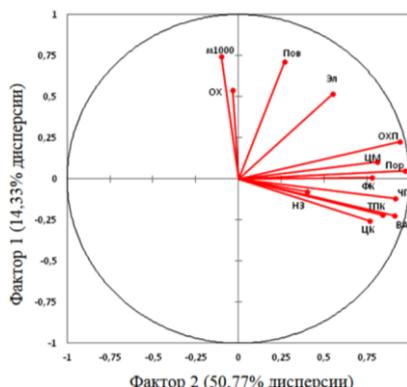


Рисунок 2 – Биplot-анализ взаимосвязей изученных признаков зерна озимой ржи в системе первых двух главных компонент, объясняющих 65,1 % общей дисперсии

Примечание. *m1000* – масса 1000 зерен; *НЗ* – натура зерна; *ЧП* – число падения; *ВА* – высота амилограммы; *ТПК* – температурный пик клейстеризации; *ПОВ* – поверхность хлеба; *ФК* – форма корки; *ЦК* – цвет корки; *ЦМ* – цвет мякиша; *ПОР* – пористость; *ЭЛ* – эластичность; *ОХ* – объем хлеба; *ОХП* – общая хлебопекарная оценка.

Так как оптимальными величинами параметра «высота амилограммы» считаются 350–645 е.а. [25], можно отметить, что состояние углеводно-амилазного комплекса в среднем для выборки сортов в семи из 21 года исследований не было оптимальным для использования зерна в хлебопечении. Однако, если учитывать принятые в ЕС требования к зерну хлебопекарного назначения (то есть, ЧП более 120 с, ВА – более 200 е.а. и ТПК – выше 63 °С [25]), то только в 2001 г. и 2019 г. средние показатели сортов не соответствовали им.

Наши данные также согласуются с выводами о широкой генотипической и модификационной изменчивости показателя высота амилограммы, к которым пришли белорусские исследователи [27] при анализе набора сортов озимой ржи и озимого тритикале, в то же время показатели температуры клейстеризации крахмала характеризовались незначительной вариабельностью и устойчивостью к изменению температурных условий выращивания.

Достаточно низкая доля влияния генотипа может объясняться тем, что подавляющее большинство изученных сортов были выведены в ФАНЦ Северо-Востока, то есть, скорее всего, они обладают большим генетическим родством. С другой стороны, высокая доля влияния условий среды косвенно подтверждает надежность сделанных в работе выводов, так как позволяет учитывать особенности развития изучаемых показателей в большом разнообразии условий проведения исследования.

Хлеб и другие хлебобулочные изделия – основные продукты, производимые из ржи [28], поэтому определение качества выпечки так же важно, как и в случае пшеницы. Хотя хлебопекарные испытания являются процедурами, занимающими много времени и труда, качество конечного продукта может быть определено непосредственно только этими процедурами. Возможность снижения числа этих процедур путем математического анализа связей технологических, хлебопекарных и органолептических качеств зерна является актуальной и достаточно сложной задачей.

Такой технологический параметр, как «натура зерна» оказался для исследуемого набора сортов озимой ржи не сопряженным с хлебопекарными свойствами или параметрами устойчивости к прорастанию зерна. Не отмечено статистически значимых связей параметров «масса 1000 зерен», «поверхность хлеба» и «объем хлеба» с какими-либо другими оцениваемыми параметрами (см. таблицу 3).

Показатель «число падения» коррелировал с показателями «высота амилограммы» и «температурный пик клейстеризации», что согласуется с данными других исследователей [27]. В нашей работе три указанных признака имели сильную корреляционную связь с большинством показателей лабораторной выпечки хлебцев ($r = 0,542-0,903$) и, как следствие, с общей хлебопекарной оценкой ($r = 0,696-0,798$). Данное наблюдение расходится с мнением [17], что критерии, характеризующие углеводно-амилазный комплекс не позволяют прогнозировать качество выпекаемого хлеба. Однако можно упомянуть мнение авторов [20], которые указывали, что, например, такой показатель как «объем хлеба» положительно коррелирует с пониженным содержанием белка, водонерастворимых пентозанов, но отрицательно с высоким содержанием водорастворимых пентозанов в ржаной муке.

Как следует из данных таблицы 4, первый фактор, объясняющий половину (50,8 %) суммарной дисперсии, определяли, главным образом, показатели устойчивости к прорастанию («число падения», «высота амилограммы», «температура клейстеризации») и большая часть показателей хлебопекарной оценки («форма и цвет корки», «пористость», «цвет мякиша» и «общая хлебопекарная оценка»), причем каждый из этих показателей способствовал увеличению фактора. Две следующие главные компоненты переменных имели примерно равные дисперсии – 14,3 и 12,4 %. Во втором по значимости факторе максимальные нагрузки имели показатели «масса 1000 зерен», «поверхность хлеба» и «эластичность», также увеличивающие фактор. Третий фактор определяли «натура зерна» (положительно связанная с величиной фактора) и «объем хлеба» (снижающие величину фактора, так как связь между ними отрицательна). Обращает на себя внимание факт примерно равной нагрузки, которую несет показатель «эластичность» во всех трех главных факторах. Это говорит о связи данного параметра со всеми остальными оцениваемыми показателями, но по вкладу этого параметра в каждый из факторов его следует отнести именно ко второму фактору. По той же логике параметр «объем хлеба» отнесен нами к третьему фактору.

Следует отметить, что в нашем исследовании такие параметры, как «натура зерна», с одной стороны, и параметры клейстеризации суспензии («высота амилограммы» и «температурный пик клейстеризации»), с другой стороны, оказались связанными с разными факторами, тогда как в проведенной в те же годы работе [2] с другим набором сортов озимой ржи (60 % которого были представлены сортами Татарского НИИСХ), данные три параметра были отнесены одному фактору. Аналогично, в нашей работе показатели «объем хлеба» и «цвет корки/цвет мякиша» принадлежат разным факторам, тогда как в работе [2] – одному и тому же, а показатель «масса 1000 зерен» для татарских сортов выделяли в отдельный компонент, тогда как в нашей работе он входил в один компонент с двумя другими показателями.

Анализ рисунка биplotа согласно разработкам [29], позволяет получить следующую информацию:

Различия между параметрами визуализируются с помощью длины вектора и косинуса угла между векторами разных параметров. Поэтому можно выделить следующие группы параметров, между векторами которых образуется почти прямой угол (указывая на отсутствие корреляции) – («масса 1000 зерен», «объем хлеба») / («общая хлебопекарная оценка», «цвет мякиша»), «поверхность хлеба»/«цвет корки».

Соответственно, в каждой паре параметров требуется разная целенаправленная селекция для разных наборов показателей.

С другой стороны, параметры, имеющие близкую по величине длину вектора и небольшой угол между этими векторами, очевидно, сильно связаны друг с другом и для общей оценки сорта использование сразу всех этих параметров будет излишним (занимать больше времени и сил). Поэтому в таких наборах показателей вполне можно провести ревизию и исключить заведомо избыточные. Можно ориентироваться на длину вектора, так как более длинный вектор соответствует параметру, имеющему больший вклад в проявление фактора. Так, в наборе параметров («общая хлебопекарная оценка», «цвет мякиша», «пористость», «форма корки») параметры «цвет мякиша» и «форма корки» имеют меньшую длину вектора, а векторы других двух параметров – более длинные и примерно одинаковые. Исходя из данных таблицы 4, они принадлежат одному и тому же фактору, то есть первые два из них могут быть исключены.

В другом наборе параметров, имеющих небольшой угол между векторами («натура зерна», «цвет корки»; «число падения»; «высота амилограммы», «температура пика клейстеризации»), все параметры, кроме натуры зерна, принадлежат одному и тому же фактору; три последние параметра тесно связаны друг с другом ($r = 0,837-0,916$) и имеют практически одинаковые факторные нагрузки ($0,843-0,914$). Связь каждого из них с параметром «цвет корки» значительно ниже ($r = 0,548-0,763$), поэтому логично использовать в селекционной работе параметры «натура зерна», «цвет корки» и один из параметров, характеризующий устойчивость зерна к прорастанию. Исходя из величин коэффициентов вариации как по годам, так и по сортам, можно предложить оставить для массовых анализов генотипов озимой ржи только параметр «высота амилограммы». Высокая вариабельность данного показателя отмечается и в работах других авторов [2, 25, 27]. Остальные параметры могут быть необходимы при проведении технологической оценки зерна, но не в ходе селекционной работы.

Выводы

В условиях восточного района центральной климатической зоны Кировской области проведена оценка параметров, которые наиболее полно характеризуют качество зерна озимой ржи. Установлено, что наиболее широкой генотипической и модификационной изменчивостью характеризовался показатель «высота амилограммы» (коэффициент вариации по сортам достигал 34,3 %, а в среднем по годам – 47,0 %). Самая низкая вариабельность отмечена для параметра «температура клейстеризации крахмала» (соответственно 4,6 и 7,1 %). Показатели натура зерна и масса 1000 зерен в изучаемом наборе сортов озимой ржи не были сопряжены с хлебопекарными свойствами и параметрами устойчивости к прорастанию зерна (число падения, высота амилограммы, ТПК). Число падения коррелировало с высотой амилограммы ($r = 0,837$) и ТПК ($r = 0,945$), при этом три указанных признака имели сильную корреляционную связь с большинством показателей лабораторной выпечки хлебцев ($r = 0,542-0,903$) и, как следствие, с общей хлебопекарной оценкой ($r = 0,696-0,798$). Показатель «эластичность» имел примерно равные факторные нагрузки во всех трех главных факторах, что говорит о связи данного параметра со всеми остальными оцениваемыми показателями, то есть его нельзя четко отнести ни к одному из комплексных параметров оценки. По результатам биplot-анализа выявлены следующие пары параметров, не коррелирующих между собой: («объем хлеба», «масса 1000 зерен») / («общая хлебопекарная оценка», цвет мякиша), «поверхность хлеба»/«цвет корки», для каждого набора показателей требуется отдельная целенаправленная селекция, так как они принадлежат разным ортогональным (несвязанным между собой) факторам. С другой стороны, параметры «общая хлебопекарная оценка», «пористость», «цвет мякиша» и «форма корки» принадлежат

одному фактору, но два последние имеют значительно меньшую длину вектора, то есть могут быть исключены из анализа. В другом наборе параметров («натура зерна», «цвет корки», «число падения», «высота амилограммы», ТПК) последние три тесно связаны друг с другом ($r = 0,837-0,916$) и имеют практически одинаковые факторные нагрузки ($0,843-0,914$). Связь каждого из них с параметром цвет корки значительно ниже ($r = 0,548-0,763$), поэтому логично использовать в селекционной работе параметры «натура зерна», «цвет корки» и только один из параметров, характеризующий устойчивость зерна к прорастанью, по нашему мнению, это параметр «высота амилограммы».

Литература

1. Гончаренко А. А. Актуальные вопросы селекции озимой ржи. М.: ФГБНУ Росинформагротех, 2014. 372 с.
2. 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. DOI: 10.18699/VJ19.496.
3. 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. DOI: 10.25750/1995-4301-2020-1-014-020.
4. Коданев И. М. Агротехнические приемы повышения качества зерна. Горький, 1981. 46 с.
5. Потапова Г. Н., Галимов К. А., Зобнина Н. Л., Иванова М. С. Новые сорта и особенности технологии выращивания озимых зерновых культур на семена в ФГБНУ Уральский НИИСХ // Пермский аграрный вестник. 2017. № 2(18). С. 48–56.
6. Ismagilov R. R., Gaysina L. F., Ahiyarova L. M., Ayupov D. S., Nurlygayanov R. B., Ahiyarov B. G., Abdulvaleev R. R., Maljutina K. V., Ismagilov K. R., Abdulloev V. K. Crop yields and baking qualities of F1 winter rye hybrids grain in the forest-steppe of the Republic of Bashkortostan // Journal of Engineering and Applied Sciences. 2018. Vol. 13(S8). P. 6487–6493. DOI: 10.3923/jeasci.2018.6487.6493.
7. Аниськов Н. И., Сафонова И. В. Сравнительная оценка показателей пластичности, стабильности и гомеостатичности сортов озимой ржи селекции ВИР по признаку масса 1000 зерен // Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции. 2020. Т. 181(3). С. 56–63. DOI: 10.30901/2227-8834-2020-3-56-63.
8. Żakowska-Biemans S., Kostyra E. Sensory profile, consumers' perception and liking of wheat-rye bread fortified with dietary fibre // Appl. Sci. 2023. Vol. 13. Art. No. 694. DOI: 10.3390/app13020694.
9. Сысуев В. А., Кедрова Л. И., Рубцова Н. Е., Русаков Р. В., Устюжанин И. А., Уткина Е. И. Концептуальные направления развития научно-инновационного проекта Рожь России // Достижения науки и техники АПК. 2015. Т. 29. № 11. С. 28–31.
10. Foschia M., Peressini D., Sensidoni A., Brennan C.S. The effects of dietary fibre addition on the quality of common cereal products // J. Cereal Sci. 2013. Vol. 58. P. 216–227. DOI: 10.1016/j.jcs.2013.05.010.
11. García-Gómez B., Fernández-Canto N., Vázquez-Odériz M.L., Quiroga-García M., Muñoz-Ferreiro N., Romero-Rodríguez M. Á. Sensory descriptive analysis and hedonic consumer test for Galician type breads // Food Control. 2022. Vol. 134. Art. No. 108765. DOI: 10.1016/j.foodcont.2021.108765.
12. Martin C., Chiron H., Issanchou S. Impact of dietary fiber enrichment on the sensory characteristics and acceptance of French baguettes // J. Food Qual. 2013. Vol. 36. P. 324–333. DOI: 10.1111/jfq.12045.
13. Sujka K., Ceglinska A., Romankiewicz D., Kasprzyk E. Wpływ dodatku błonnika na zmianę wilgotności i tekstury pieczywa pszennego w czasie przechowywania // Acta Agrophysica. 2018. Vol. 25. P. 73–84. DOI: 10.31545/aagr0006.
14. Song X., Perez-Cueto F. J. A., Bredie W. L. P. Sensory-driven development of protein-enriched rye bread and cream cheese for the nutritional demands of older adults // Nutrients. 2018. No 10. Art. No. 1006. DOI: 10.3390/nu10081006.
15. Френкель М. О., Переведенцев Ю. П., Соколов В. В. Климатический мониторинг Кировской области. Казань, 2012. 263 с.
16. Оценка качества зерна: Справочник // Сост.: И. И. Василенко, В. И. Комаров. М.: Агропромиздат, 1987. 208 с.
17. Бебякин В. М., Ермолаева Т. Я., Кулеватова Т. Б., Кулагина Т. В. Селекционная значимость критериев качества зерна озимой ржи // Международная научно-практическая конференция «Озимая рожь: селекция, семеноводство, технологии и переработка». Киров: Зональный научно-исследовательский институт сельского хозяйства Северо-Востока им. Н.В. Рудницкого, 2003. С. 130–132.
18. Comrey A. L. Factor-analytic methods of scale development in personality and clinical psychology // J Consult Clin Psychol. 1988. Vol. 56. P. 754–761. DOI: 10.1037//0022-006x.56.5.754.

19. Wrigley C., Bushuk W. Rye: grain-quality characteristics and management of quality requirements // In book: Cereal grains. Woodhead Publishing. Ed. by Wrigley C., Batey I. L., Miskelly M. Cambridge, United Kingdom, 2017. P. 153–178. DOI: 10.1016/B978-0-08-100719-8.00007-3.
20. Stepniewska S., Hassoon W. H., Szafranska A., Cacak-Pietrzak G., Dziki D. Procedures for breadmaking quality assessment of rye wholemeal flour // Foods. 2019. No. 8. Art. No. 331. DOI: 10.3390/foods8080331.
21. Laidig F., Piepho H. P., Rentel D., Drobek T., Meyer U., Huesken A. Breeding progress, variation, and correlation of grain and quality traits in winter rye hybrid and population varieties and national on-farm progress in Germany over 26 years // Theoretical and Applied Genetics. 2017. Vol. 130(5). P. 981–998. DOI: 10.1007/s00122-017-2865-9.
22. Лыскова И. В., Шляхтина Е. А., Рылова О. Н. Влияние активности фермента альфа-амилазы на хлебопекарные качества озимой ржи. // Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2014. № 3(40). С. 15–18.
23. Salmenkallio-Marttila M., Novinen S. Enzyme activities, dietary fibre components and rheological properties of wholemeal flours from rye cultivars grown in Finland // Journal of the Science of Food and Agriculture. 2005. Vol. 85. P. 1350–1356. DOI: 10.1002/jsfa.2128.
24. Linina A., Kunkulberga D., Kronberga A., Locmele I. Winter rye grain quality of hybrid and population cultivars // Agronomy Research. 2019. Vol. 17(S2). P. 1380–1389. DOI: 10.15159/AR.19.058
25. Кобылянский В. Д., Солодухина О. В., Тимина М. А., Плеханова Л. В. Селекция озимой ржи на качество зерна в условиях Красноярского края // Вестник КрасГАУ. 2017. № 5. С. 8–14.
26. Muenzing K., Huesken A., Unbehend G., Begemann J., Arent L., Wolf K., Lindhauer M. G. Die Qualität der deutschen Roggenernte 2014 // Mühle und Mischfutter. 2014. Vol. 155. P. 745–754.
27. Шишлова Н. П., Лапутько Е. В., Шемпель Т. П. Амилографический анализ муки озимого тритикале // Физиология растений и генетика. 2013. Т. 45. № 5. С. 432–441.
28. Németh R., Tömösközi S. Rye: current state and future trends in research and applications // Acta Alimentaria. 2021. Vol. 50. No. 4. P. 620–640. DOI: 10.1556/066.2021.00162.
29. Yan W., Tinker N. A. Biplot analysis of multi-environment trial data: principles and applications // Canadian Journal of Plant Science. 2006. Vol. 86. P. 623–645. DOI: 10.4141/P05-169.

References

1. Goncharenko A. A. Topical issues of winter rye breeding. Moscow: Rosinformagrotekh, 2014. 372 p.
2. Ponomareva M. L., Ponomarev S. N. Optimization of grain quality parameters for winter rye breeding // Vavilov Journal of Genetics and Breeding. 2019. Vol. 23(3). P. 320–327. DOI: 10.18699/VJ19.496.
3. Sysuev V. A., Kedrova L. I., Utkina E. I. Importance of winter rye for maintaining natural agroecological balance and human health (review) // Theoretical and Applied Ecology. 2020. No 1. P. 14–20. DOI: 10.25750/1995-4301-2020-1-014-020.
4. Kodanov I. M. Agrotechnical methods of grain quality increasing. Gorky, 1981. 46 p.
5. Potapova G. N., Galimov K. A., Zobnina N. L., Ivanova M. S. New varieties and peculiarities of growing techniques of the winter cereals for seeds at the Federal Budget State Scientific Institution “the Ural Scientific Research Institute” // Perm Agrarian Journal. 2017. No. 2(18). P. 48–56.
6. Ismagilov R. R., Gaysina L. F., Ahiyarova L. M., Ayupov D. S., Nurligayanov R. B., Ahiyarov B. G., Abdulvaleev R. R., Maljutina K. V., Ismagilov K. R., Abdulloev V. K. Crop yields and baking qualities of F1 winter rye hybrids grain in the forest-steppe of the Republic of Bashkortostan // Journal of Engineering and Applied Sciences. 2018. Vol. 13(S8). P. 6487–6493. DOI: 10.3923/jeasci.2018.6487.6493.
7. Aniskov N. I., Safonova I. V. Comparative assessment of plasticity, stability and homeostasis based on ‘1000 grain weight’ in winter rye cultivars developed at VIR // Proceedings on applied botany, genetics and breeding. 2020. Vol. 181(3). P. 56–63. DOI: 10.30901/2227-8834-2020-3-56-63.
8. Żakowska-Biemans S., Kostyra E. Sensory profile, consumers’ perception and liking of wheat–rye bread fortified with dietary fibre // Appl. Sci. 2023. Vol. 13. Art. No. 694. DOI: 10.3390/app13020694.
9. Sysuev V. A., Kedrova L. I., Rubtsova N. E., Rusakov R. V., Ustyuzhanin I. A., Utkina E. I. Conceptual trends of development of scientifically-innovative project “Rye of Russia” // Achievements of Science and Technology of AIC. 2015. Vol. 29. No. 11. P. 28–31.
10. Foschia M., Peressini D., Sensidoni A., Brennan C.S. The effects of dietary fibre addition on the quality of common cereal products // J. Cereal Sci. 2013. Vol. 58. P. 216–227. DOI: 10.1016/j.jcs.2013.05.010.
11. García-Gómez B., Fernández-Canto N., Vázquez-Odériz M.L., Quiroga-García M., Muñoz-Ferreiro N., Romero-Rodríguez M. Á. Sensory descriptive analysis and hedonic consumer test for Galician type breads // Food Control. 2022. Vol. 134. Art. No. 108765. DOI: 10.1016/j.foodcont.2021.108765.
12. Martin C., Chiron H., Issanchou S. Impact of dietary fiber enrichment on the sensory characteristics and acceptance of French baguettes // J. Food Qual. 2013. Vol. 36. P. 324–333. DOI: 10.1111/jfq.12045.
13. Sujka K., Ceglinska A., Romankiewicz D., Kacprzyk E. The influence of dietary fiber on moisture and texture changes in wheat bread during storage // Acta Agrophysica. 2018. Vol. 25. P. 73–84. DOI: 10.31545/aagr0006.

14. Song X., Perez-Cueto F. J. A., Bredie W. L. P. Sensory-driven development of protein-enriched rye bread and cream cheese for the nutritional demands of older adults // *Nutrients*. 2018. No. 10. Art. No. 1006. DOI: 10.3390/nu10081006.
15. Frenkel M. O., Perevedentsev Yu. P., Sokolov V. V. Climate monitoring of the Kirov region. Kazan, 2012. 263 p.
16. Grain quality assessment: reference book // Ed. by I. I. Vasilenko, V. I. Komarov. Moscow: Agropromizdat, 1987.
17. Bebyakin V. M., Ermolaeva T. Ya., Kulevatova T. B., Kulagina T. V. Breeding value of criteria of winter rye grain quality // International Scientific and Practical Conference “Winter rye: breeding, seed growing, technologies and processing”. Kirov: Zonal Agricultural Research Institute of the North-East named after N.V. Rudnitsky, 2003. P. 130–132.
18. Comrey A. L. Factor-analytic methods of scale development in personality and clinical psychology // *J Consult Clin Psychol*. 1988. Vol. 56. P. 754–761. DOI: 10.1037//0022-006x.56.5.754.
19. Wrigley C., Bushuk W. Rye: grain-quality characteristics and management of quality requirements // In book: *Cereal grains*. Woodhead Publishing. Ed. by Wrigley C., Batey I. L., Miskelly M. Cambridge, United Kingdom, 2017. P. 153–178. DOI: 10.1016/B978-0-08-100719-8.00007-3.
20. Stępniewska S., Hassoon W. H., Szafrńska A., Cacak-Pietrzak G., Dziki D. Procedures for breadmaking quality assessment of rye wholemeal flour // *Foods*. 2019. No. 8. Art. No. 331. DOI: 10.3390/foods8080331.
21. Laidig F., Piepho H. P., Rentel D., Drobek T., Meyer U., Huesken A. Breeding progress, variation, and correlation of grain and quality traits in winter rye hybrid and population varieties and national on-farm progress in Germany over 26 years // *Theoretical and Applied Genetics*. 2017. Vol. 130(5). P. 981–998. DOI: 10.1007/s00122-017-2865-9.
22. Lyskova I., Shlyakhtina E., Rylova O. Influence of alpha amylase activity on baking qualities of winter rye // *Agricultural Science Euro-North-East*. 2014. No. 3. P. 15–18.
23. Salmenkallio-Marttila M., Hovinen S. Enzyme activities, dietary fibre components and rheological properties of wholemeal flours from rye cultivars grown in Finland // *Journal of the Science of Food and Agriculture*. 2005. Vol. 85. P. 1350–1356. DOI: 10.1002/jsfa.2128.
24. Linina A., Kunkulberga D., Kronberga A., Locmele I. Winter rye grain quality of hybrid and population cultivars // *Agronomy Research*. 2019. Vol. 17(S2). P. 1380–1389. DOI: 10.15159/AR.19.058.
25. Kobylansky V. D., Solodukhina O. V., Timina M. A., Plekhanova L. V. The selection of winter rye on the quality of grain in the conditions of Krasnoyarsk region // *Vestnik KSAU*. 2017. No. 5. P. 8–14.
26. Muenzing K., Huesken A., Unbehend G., Begemann J., Arent L., Wolf K., Lindhauer M. G. Die Qualität der deutschen Roggenernte 2014 // *Mühle und Mischfutter*. 2014. Vol. 155. P. 745–754.
27. Shishlova N. P., Laputko E. V., Shempel T. P. Amilographic analysis of winter triticale flour // *Plant Physiology and Genetics*. 2013. Vol. 45(5). P. 432–441.
28. Németh R., Tömösközi S. Rye: current state and future trends in research and applications // *Acta Alimentaria*. 2021. Vol. 50. No. 4. P. 620–640. DOI: 10.1556/066.2021.00162.
29. Yan W., Tinker N. A. Biplot analysis of multi-environment trial data: principles and applications // *Canadian Journal of Plant Science*. 2006. Vol. 86. P. 623–645. DOI: 10.4141/P05-169.

UDC 633.14:664.746

Lyskova I. V., Lisitsyn E. M., Lyskova T. V., Shlyakhtina E. A., Rylova O. N.

INFORMATIVITY OF GRAIN QUALITY PARAMETERS FOR WINTER RYE BREEDING

Summary. Studying the informativity of the indicators used in the breeding programs and minimizing a system of criteria that determine the grain technological properties are actual for plant breeding. In the light of the above, the aim of the conducted research was twofold: assess the phenotypic variability of grain quality indicators, and then, identify the most informative ones for breeding purposes. To this end, in the period from 2001 to 2021, fifteen cultivars of winter rye were studied under field and laboratory conditions at the Falenki breeding station – branch of the Federal Agricultural Research Center of the North-East (Kirov region, Russian Federation). Technological, bakery and sensory parameters of grain and bread were evaluated according to generally accepted methods. Principal component analysis revealed that the parameters “test weight” and “1000-grain weight” were not associated either with bakery properties or parameters of resistance to grain germination (correlation coefficients were statistically insignificant: -0.117-0.528 and

0.051-0.378, respectively). Parameter “elasticity” had approximately equal factor loads in all three main factors (0.551, 0.516 and 0.401), i.e. it cannot be clearly attributed to any of them. In pairs of parameters (“bread volume”; “1000-grain weight”) / (“total bakery estimate”; “crumb color”), “bread surface” / “crust color”, different-aimed selection is required for each set of indicators because they are controlled by different orthogonal (independent) factors. Parameters “total bakery estimate”, “porosity”, “crumb color” and “crust shape” belong to the same factor, but the latter two have a significantly weaker factor loading (13.38; 14.27; 9.89 and 9.21, respectively); hence, they can be excluded from the analysis. Parameters “falling number”, “amylogram height” and “temperature peak of gelatinization” are closely related to each other ($r = 0.837-0.916$) and have practically the same factor loads (0.843-0.914); therefore, in breeding work, it is proposed to use only “amylogram height” as the most variable in years and cultivars ($CV = 52.0$).

Keywords: *Secale cereale* L., 1000-grain weight, test weight, falling number, amylogram, baking properties, sensory properties, principal component analysis, biplot analysis.

Лыскова Ирина Владимировна, кандидат сельскохозяйственных наук, старший научный сотрудник лаборатории агрохимии и качества зерна, Фалёнская селекционная станция – филиал ФГБНУ «Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока имени Н. В. Рудницкого»; 612500, Россия, Кировская область, п. Фалёнки, ул. Тимирязева, 3; e-mail: fss.nauka@mail.ru.

Лисицын Евгений Михайлович, доктор биологических наук, ведущий научный сотрудник, заведующий отделом эдафической устойчивости растений ФГБНУ «Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока имени Н. В. Рудницкого»; 610007, Россия, г. Киров, ул. Ленина, 166а; e-mail: edaphic@mail.ru.

Лыскова Татьяна Владимировна, младший научный сотрудник лаборатории агрохимии и качества зерна, Фалёнская селекционная станция – филиал ФГБНУ «Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока имени Н. В. Рудницкого»; 612500, Россия, Кировская область, п. Фалёнки, ул. Тимирязева, 3; e-mail: fss.nauka@mail.ru.

Шляхтина Елена Анатольевна, научный сотрудник лаборатории селекции и первичного семеноводства озимой ржи, Фалёнская селекционная станция – филиал ФГБНУ «Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока имени Н. В. Рудницкого»; 612500, Россия, Кировская область, п. Фалёнки, ул. Тимирязева, 3; e-mail: fss.nauka@mail.ru.

Рылова Ольга Николаевна, младший научный сотрудник лаборатории селекции и первичного семеноводства озимой ржи, Фалёнская селекционная станция – филиал ФГБНУ «Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока имени Н. В. Рудницкого»; 612500, Россия, Кировская область, п. Фалёнки, ул. Тимирязева, 3; e-mail: fss.nauka@mail.ru.

Lyskova Irina Vladimirovna, Cand. Sc. (Agr.), senior researcher of the Laboratory of agrochemistry and seed quality, Falenki Breeding Station – Branch of FSBSI “Federal Agricultural Research Center of the North-East named after N. V. Rudnitsky”; 3, Timiryazeva str., Falenki village, Kirov region, 612500, Russia; e-mail: fss.nauka@mail.ru.

Lisitsyn Eugeny Mikhailovich, Dr. Sc. (Biol.), leading researcher, head of the Department of plant edaphic resistance, FSBSI “Federal Agricultural Research Center of the North-East named after N. V. Rudnitsky”; 166 a, Lenina str., Kirov, 610007, Russia; e-mail: edaphic@mail.ru.

Lyskova Tatiana Vladimirovna, junior researcher of the Laboratory of agrochemistry and seed quality, Falenki Breeding Station – Branch of FSBSI “Federal Agricultural Research Center of the North-East named after N. V. Rudnitsky”; 3, Timiryazeva str., Falenki village, Kirov region, 612500, Russia; e-mail: fss.nauka@mail.ru.

Shlyakhtina Elena Anatolievna, researcher of the Laboratory of winter rye breeding and primary seed production, Falenki Breeding Station – Branch of FSBSI “Federal Agricultural Research Center of the North-East named after N. V. Rudnitsky”; 3, Timiryazeva str., Falenki village, Kirov region, 612500, Russia; e-mail: fss.nauka@mail.ru.

Rylova Olga Nikolaevna, junior researcher of the Laboratory of winter rye breeding and primary seed production, Falenki Breeding Station – Branch of FSBSI “Federal Agricultural Research Center of the North-East named after N. V. Rudnitsky”; 3, Timiryazeva str., Falenki village, Kirov region, 612500, Russia; e-mail: fss.nauka@mail.ru.

Дата поступления в редакцию – 17.07.2023.

Дата принятия к печати – 21.09.2023.