

ОТЕЧЕСТВЕННАЯ СЕЛЕКЦИЯ НА СОВРЕМЕННОМ ЭТАПЕ

Научная статья

УДК 633.14«324»:631.526.32:631.524.7(470.44/47)

DOI: 10.30901/2227-8834-2023-4-153-162



Показатели качества и фракционный состав зерна сортов озимой ржи по крупности в условиях Нижнего Поволжья

Н. Н. Нуждина, Д. А. Жиганов, Т. Я. Ермолаева, Т. Б. Кулеватова, Л. Н. Злобина, Л. В. Андреева, В. А. Куликова, Н. А. Салманова, В. Н. Нечаев

*Федеральный аграрный научный центр Юго-Востока, Саратов, Россия**Автор, ответственный за переписку: Даниил Александрович Жиганов, raiser_saratov@mail.ru*

Актуальность. В связи с расширением технологий переработки зерна сортов озимой ржи важно знать генотипически обусловленные характеристики качества зерновой массы, а также ее фракционный состав по размеру.

Материалы и методы. Объектами исследований служили 22 образца селекции научных учреждений России, 3 – Республики Беларусь и 3 сорта селекции ФАНЦ Юго-Востока. Сравнительное испытание проведено в 2021–2022 гг. на делянках площадью 13,2 м² в двух полевых повторениях. Показатели качества (натурная масса зерна, масса 1000 зерен, фракционный состав по размеру зерновки, число падения, максимальная высота амилограммы, температура гелеобразования крахмала) определяли стандартными методами. Содержание белка в зерне определяли на инфракрасном анализаторе «Инфратек 1241». Реологические свойства водных суспензий шрота (соотношение «шрот / вода» – 1 : 4) – на ротормном вискографе фирмы Vrabender по разработанной в лаборатории качества зерна ФАНЦ Юго-Востока методике при температуре 20°C. Статистическая обработка результатов исследований осуществлялась с помощью пакета программ статистического анализа в селекции AGROS (версия 2.13).

Результаты. Выявлено формирование содержания белка на уровне 9,98–10,85% и высокой температуры гелеобразования крахмала в связи с повышенными относительно нормы температурами июня. Наблюдаются значительные различия по фракционному составу зерна между сортами, из которых выделены 12 форм, характеризующихся средней вязкостью суспензии ржаного шрота, с содержанием фракции мелкого зерна до 30% от общей массы.

Заключение. Наблюдается положительная значимая сопряженность между пятью изучаемыми показателями, характеризующими реологические свойства суспензий «вода / шрот» на основе муки из зерна сортов озимой ржи, и фракционным составом зерна 0,82*–0,91*. Содержание фракции мелкого зерна до 30% от общей массы, масса 1000 зерен в пределах 29,0–31,0 г и удлиненная форма зерновки – фенотипические признаки в пользу более высокого содержания пентозанов.

Ключевые слова: натурная масса зерна, число падения, содержание белка, вязкость суспензии, масса фракции зерна (г) менее 2,2 × 20,0 мм в 100 г, сопряженность признаков

Благодарности: работа выполнена согласно госзаданию: FSNM-2022-0003 «Создание и совершенствование системы видов и сортов (гибридов) сельскохозяйственных культур, адаптивных к абиострессорам и устойчивых к основным патогенам, сочетающих высокую потенциальную продуктивность с качеством урожая, с целью снижения экономических рисков в растениеводстве и повышения биоразнообразия в регионе». Статья подготовлена к конференции, посвященной 50-летию лаборатории генетики и цитологии ФАНЦ Юго-Востока.

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

Для цитирования: Нуждина Н.Н., Жиганов Д.А., Ермолаева Т.Я., Кулеватова Т.Б., Злобина Л.Н., Андреева Л.В., Куликова В.А., Салманова Н.А., Нечаев В.Н. Показатели качества и фракционный состав зерна сортов озимой ржи по крупности в условиях Нижнего Поволжья. *Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции*. 2023;184(4):153-162. DOI: 10.30901/2227-8834-2023-4-153-162

DOMESTIC PLANT BREEDING AT THE PRESENT STAGE

Original article

DOI: 10.30901/2227-8834-2023-4-153-162

Grain quality indicators and size-dependent fractional composition in winter rye cultivars under the conditions of the Lower Volga region

Nadezhda N. Nuzhdina, Daniil A. Zhiganov, Tatyana Y. Ermolaeva, Tatyana B. Kulevatova, Lyudmila N. Zlobina, Lyubov V. Andreeva, Valentina A. Kulikova, Nina. A. Salmanova, Vadim. N. Nechaev

*Federal Center of Agriculture Research of the South-East Region, Saratov, Russia***Corresponding author:** Daniil A. Zhiganov, raiser_saratov@mail.ru

Background. Grain quality indicators of winter rye cultivars were analyzed in connection with the size-dependent fractional composition of their grain in the Lower Volga environments.

Materials and methods. The research material included 22 cultivars developed at various Russian scientific institutions, 3 Belarusian ones, and 3 cultivars bred at the Federal Center of Agriculture Research of the South-East Region. Comparative trials were conducted in 2021–2022 on 13.2 m² plots in two field replications. The following grain quality indicators were studied: grain test weight, 1000 grain weight, size-dependent fractional composition, Hagberg falling number, amylogram peak height, starch gelatinization temperature, protein content, and rheological properties of the meal/water slurry.

Results. Protein content was recorded at a level of 9.98–10.85%, while the starch gelatinization temperature was high due to the June air temperatures higher than the norm. Significant differences among the cultivars were found in the fractional composition of grain: 12 forms were identified with medium viscosity of the meal/water slurry and the fine-grain fraction content up to 30% of the total weight.

Conclusions. There is a positive significant correlation between the five studied indicators characterizing the rheological properties of the meal/water slurry made from the grain of winter rye cultivars and the grain fraction composition (0.82*–0.91*).

Keywords: grain test weight, falling number, protein content, slurry viscosity, grain fraction weight (g) less than 2.2 × 20.0 mm per 100 g, interrelation of characters

Acknowledgements: the study was carried out under the state task: FSNM-2022-0003 “Development and improvement of a system of crop species and cultivars (hybrids) adaptable to abiotic stressors, resistant to major pathogens, and combining high potential productivity with crop quality in order to reduce economic risks in crop production and increase biodiversity in the region”. The article was prepared for the 50th anniversary of the Genetics and Cytology Laboratory of the Federal Center of Agriculture Research of the South-East Region.

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

For citation: Nuzhdina N.N., Zhiganov D.A., Ermolaeva T.Y., Kulevatova T.B., Zlobina L.N., Andreeva L.V., Kulikova V.A., Salmanova N.A., Nechaev V.N. Grain quality indicators and size-dependent fractional composition in winter rye cultivars under the conditions of the Lower Volga region. *Proceedings on Applied Botany, Genetics and Breeding*. 2023;184(4):153-162. DOI: 10.30901/2227-8834-2023-4-153-162

Введение

В Приволжском федеральном округе России озимая рожь является распространенной продовольственной культурой. Значительное количество зерна используется и в производстве кормов. Однако в последнее десятилетие наблюдается сокращение посевов этой культуры; в Саратовской области они составляют 58 287,0 га.

Успешная селекционная работа в научных учреждениях позволила создать сорта озимой ржи, которые прошли районирование в регионах Российской Федерации. Расширение технологий переработки зерна данных сортов, рассмотрение перспективы применения возможны только при знании генотипически обусловленных характеристик качества. Изучению данных вопросов посвящены исследования многих ученых (Shakirzyanov et al., 2019; Goncharenko, 2014).

Основным документом в РФ, определяющим обязательные требования, которым должна соответствовать пищевая или техническая рожь, – это Межгосударственный стандарт ГОСТ 16990-2017 «Рожь. Технические условия» (ГОСТ 16990-2017..., 2019). В соответствии с критериями ЕС ржаное зерно обладает хлебопекарными качествами, если число падения > 120 с, максимальная вязкость, оцениваемая по высоте амилограммы > 200 е. а. и максимальная температура пика клейстеризации > 63°C (Munzing et al., 2004). В определении качества зерна важную роль играют следующие показатели: количество белка, особенности крахмала, активность фермента альфа-амилазы, содержание пентозанов. Косвенная оценка содержания пентозанов проводится по вязкости водно-мучной (шротовой) суспензии (Bogos et al., 1993; Ponomareva et al., 2015). Мукомольные качества определяют такие показатели, как масса тысячи зерен (1000 зерен) и натурная масса зерна.

Показатели качества зерна обусловлены большой группой сцепленных генов, экспрессия которых подвержена значительному влиянию генетических и средовых факторов, а также их взаимодействию (Ponomareva, Ponomarev, 2019a). Масса 1000 зерен – признак генотипически обусловленный, с низкой долей дисперсии, характеризующей взаимодействие «генотип – год» – 2,6%. Данный признак тесно связан с выравненностью зерна и натурной массой. Согласно многолетним исследованиям, доля дисперсии, характеризующая влияние года на изменчивость признака «вязкость водного экстракта», составила 49%, взаимодействие «генотип – год» – 16,2%, генотипа – 34,8%, что отражает возможность идентификации сортов по данному показателю. Вязкость водного экстракта ржаного шрота, позволяющая косвенно оценить содержание водорастворимых пентозанов, взаимосвязана умеренной отрицательной связью с массой 1000 зерен ($r = -0,522$) и выравненностью зерна ($r = -0,624$) (Ponomareva, Ponomarev, 2019b). Интерес представляют исследования ученых под руководством Р. Р. Исмагилова (Ismagilov, Gaisina, 2015), выявивших на примере сорта 'Чулпан 7', что при увеличении толщины зерновки на 1 мм содержание водорастворимых пентозанов снижается на 1,01%.

Цель настоящего исследования – выявить межсортовые различия по качественным показателям в условиях Нижнего Поволжья в связи с индивидуальной характеристикой сорта – формированием урожая зерна с определенным содержанием фракции диаметром поперечного сечения менее 2,2 мм.

Материалы и методы

Полевые эксперименты проводили на опытном участке в севообороте селекционного центра Федерального аграрного научного центра Юго-Востока (ФАНЦ Юго-Востока, г. Саратов). Материалом служило зерно перспективных популяционных сортов озимой ржи индустриальной и собственной селекции урожая 2021 и 2022 г. В качестве стандарта использовали сорт 'Саратовская 7'. Предшественник – черный пар, площадь делянки – 13,2 м², норма высева – 4,0 млн всхожих зерен на гектар. Почвы – южный чернозем с пятнами солонцов, содержание гумуса в пахотном слое – 3,0–3,5%; подвижного фосфора – около 6,0 мг/100 г почвы; калия – 25,0 мг/100 г почвы, реакция почвенного раствора близкая к нейтральной (рН 5,6–6,5).

Анализировали две полевые повторности. Содержание белка в зерне определяли на инфракрасном анализаторе «Инфратек 1241». Число падения оценивали на приборе Falling Number 1500 по методу Хагберга – Пертена. Процесс гелеобразования крахмала и температуру пика высоты кривой, отражающей его, – на амилографе фирмы Grabender; реологические свойства водных суспензий шрота (соотношение «шрот / вода» – 1 : 4) – на роторном вискографе той же фирмы, применяя разработанную в лаборатории качества зерна ФАНЦ Юго-Востока методику (Kulevatova et al., 2016; Ermolaeva et al., 2021). Фиксировались такие показатели, как начальная вязкость суспензии при температуре 20°C (BC_{10}), вязкость суспензии через 10 и 30 минут эксперимента (BC_{10} , BC_{30}) в единицах вискографа – е. в. Рассчитывали средние скорости изменения вязкости в течение 10 и 30 минут эксперимента по формулам: $\bar{V}_{10} = (BC_{10} - BC_0)/10$, $\bar{V}_{30} = (BC_{30} - BC_0)/30$. Фракционный состав определяли следующим образом: 100 г зерна просеивали через сито 2,2 × 20 мм, далее взвешиванием устанавливали его массу. Данный размер сит был выбран в связи с тем, что при доработке зерна наиболее часто применяются решета 2,2 × 20 мм. Статистическая обработка результатов исследований осуществлялась с использованием пакета программ статистического и биометрико-генетического анализа в растениеводстве и селекции AGROS (версия 2.13).

Метеорологические условия в годы проведения исследований способствовали активизации ферментов, содержащихся в зерне ржи, и снижению водоудерживающих свойств пентозанов. Май и июнь 2021 г. отличались от нормы повышенным температурным режимом и выпадением осадков в виде кратковременных дождей ($ГТК_{v-vii} = 0,75$), а в 2022 г. наблюдался пониженный температурный режим в мае, июне и обилие осадков ($ГТК_{v-vii} = 0,70$) в сравнении с нормой.

Результаты и обсуждение

По показателям, важным для мукомольной промышленности, таким как масса 1000 зерен и натурная масса зерна, сорта достоверно различались между собой. Фракционный анализ выявил различия между крайними значениями индексов у изучаемых форм в 17,9 раз в 2021 г. и в 24,8 в 2022 г. (табл. 1). В 2021 г. у 50% изученных сортов выявлено зерно с натурной массой ниже ограничительной нормы – 715 г/л; можно предположить, что на формирование зерновки отрицательно сказались повышенные температуры воздуха мая и июня. При этом количество зерна, прошедшего через сито 2,2 × 20,0 мм, составило у отдельных сортообразцов северо-восточной

Таблица 1. Физические свойства зерна и его фракционный состав у сортов озимой ржи**Table 1. Physical properties of grain and its fractional composition in winter rye cultivars**

Сорт / Cultivar	Натурная масса зерна, г/л / Grain test weight, g/L		Масса 1000 зерен, г / 1000 grain weight, g		Масса фракции (г) менее 2,2 × 20,0 мм в 100 г зерна / Weight of the grain fraction smaller than 2.2 × 20 mm per 100 g	
	2021 г.	2022 г.	2021 г.	2022 г.	2021 г.	2022 г.
Марусенька / Marusenka	731	746	38,3	38,7	4,5	2,7
Саратовская 7 / Saratovskaya 7	727	736	35,3	34,4	8,6	9,0
Саратовская 10 / Saratovskaya 10	728	744	34,4	35,0	7,2	6,3
Радонь / Radon	714	730	30,5	31,3	19,0	13,2
Тантана / Tantana	717	707	31,8	28,2	15,6	24,8
Подарок / Podarok	725	736	28,9	28,2	30,4	28,7
Рушник / Rushnik	664	712	22,5	27,2	66,7	37,9
Фаленская 4 / Falenskaya 4	690	721	23,7	23,5	80,5	57,6
Флора / Flora	684	712	21,0	22,8	80,5	67,2
Румба / Rumba	672	694	21,6	22,2	76,8	67,1
Графиня / Grafinya	682	709	22,8	24,4	76,2	61,9
Чулпан 7 / Chulpan 7	707	717	29,0	30,8	33,3	17,8
Таловская 41 / Talovskaya 41	726	739	29,5	29,0	18,7	17,6
Таловская 44 / Talovskaya 44	716	731	29,5	31,7	18,6	14,4
Таловская 45 / Talovskaya 45	715	740	28,8	31,0	18,3	15,2
Безенчукская 110 / Bezenchukskaya 110	725	731	32,5	30,5	16,6	17,0
Безенчукская 87 / Bezenchukskaya 87	729	731	32,6	36,4	5,3	6,0
Роксана / Roksana	705	720	28,5	32,4	29,1	7,5
Антарес / Antares	731	729	34,5	32,7	7,9	12,4
Презент / Prezent	730	742	27,8	30,5	34,0	21,8
Офелия / Ofeliya	713	733	30,0	30,3	33,3	25,1
Голубка / Golubka	714	734	31,6	31,9	22,4	22,5
Паулинка / Paulinka	713	734	29,2	31,8	27,8	17,5
Валдай / Valday	726	740	32,5	31,0	13,6	18,5
Альфа / Alfa	719	734	30,7	29,3	25,6	23,5
Татьяна / Tatyana	709	730	29,7	28,7	24,1	21,7
Московская 12 / Moskovskaya 12	720	730	30,1	30,1	23,6	27,1
Немчиновский 1 / Nemchinovsky 1	701	742	26,1	29,2	30,6	29,4
F	18,9*	3,6*	20,7*	13,7*	63,4*	33,6*
HCP ₀₅ , NSR ₀₅	12,4	11,7	2,9	2,8	8,5	8,1

Примечание: HCP₀₅ – наименьшая существенная разницаNote: NSR₀₅ is the least significant difference

группы до 80%. Сорты, сформировавшие зерно с натурной массой выше 715 г/л в 2021 г., более устойчивы к среднезасушливым условиям. Период активной вегетации 2022 г. оказался благоприятным для формирования хорошо выполненного зерна у инорайонных сортов. По показателям качества зерна различия между сортами были значимы на 5-процентном уровне (табл. 2). Отмечаются высокие абсолютные значения числа падения у всех сортов в 2021 г., превышающие соответствующие значения 2022 года.

Также по содержанию белка и максимальной температуре гелеобразования крахмала в 2021 г. значения выше в среднем на 9%. Наблюдаются значимые различия по максимальной высоте амилограммы, которая у отдельных сортов варьировала в пределах 250–350 е. а., то есть зерно пригодно для выпечки при бездрожжевом и кисломолочном ведении теста (на закваске); в таком случае можно ожидать образование качественного мякиша хлеба. В 2022 г. у 26 сортов наблюдается формирование высококачественного зерна; мак-

Таблица 2. Выраженность показателей качества зерна озимой ржи в зависимости от условий периода активной вегетации растений

Table 2. Expression levels of winter rye grain quality indicators depending on the conditions during the active growing season of plants

Сорт / Cultivar	Число падения, с / Falling number, sec		Максимальная высота амилограммы, е. а. / Amylogram peak height, a. u.		Максимальная температура гелеобразования крахмала, °С / Starch gelatinization temperature (max), °C		Содержание белка, % / Protein content, %	
	2021 г.	2022 г.	2021 г.	2022 г.	2021 г.	2022 г.	2021 г.	2022 г.
Марусенька / Marusenka	270	185	265	310	71,8	67,0	10,25	8,65
Саратовская 7 / Saratovskaya 7	298	195	310	285	75,5	64,3	9,98	8,90
Саратовская 10 / Saratovskaya 10	312	231	345	415	73,5	65,3	10,1	9,00
Радонь / Radon	297	228	350	460	71,5	66,8	10,65	8,75
Тантана / Tantana	287	247	280	460	70,0	69,0	10,40	9,00
Подарок / Podarok	293	204	310	380	73,8	67,5	10,65	8,55
Рушник / Rushnik	369	262	490	710	80,8	71,0	10,85	7,9
Фаленская 4 / Falenskaya 4	345	258	450	530	74,5	68,0	10,55	8,75
Флора / Flora	368	246	520	575	80,3	68,5	10,38	8,55
Румба / Rumba	400	238	555	655	84,5	70,5	10,60	8,95
Графиня / Grafinya	321	237	650	490	77,3	70,3	10,50	8,55
Чулпан 7 / Chulpan 7	311	237	315	435	71,8	66,0	10,15	8,90
Таловская 41 / Talovskaya 41	352	216	355	365	76,0	67,0	10,50	8,70
Таловская 44 / Talovskaya 44	353	265	470	405	89,8	69,0	10,75	9,15
Таловская 45 / Talovskaya 45	383	248	465	400	85,0	67,8	10,80	9,75
Безенчукская 110 / Bezenchukskaya 110	249	270	255	495	70,8	68,3	10,80	9,75
Безенчукская 87 / Bezenchukskaya 87	313	224	300	495	74,3	66,8	10,00	9,25
Роксана / Roksana	334	232	355	440	72,8	68,0	10,50	8,9
Антарес / Antares	278	254	270	485	75,3	67,8	10,57	9,5
Презент / Present	334	200	320	345	73,0	67,5	10,82	9,65
Офелия / Ofeliya	352	268	350	480	74,0	68,5	10,65	9,0

Таблица 2. Окончание

Table 2. The end

Сорт / Cultivar	Число падения, с / Falling number, sec		Максимальная высота амилограммы, е. а. / Amylogram peak height, a. u.		Максимальная температура гелеобразования крахмала, °С / Starch gelatinization temperature (max), °С		Содержание белка, % / Protein content, %	
	2021 г.	2022 г.	2021 г.	2022 г.	2021 г.	2022 г.	2021 г.	2022 г.
Голубка / Golubka	347	299	580	550	74,5	69,8	10,80	8,7
Паулинка / Paulinka	350	266	250	505	79,5	67,0	10,32	8,85
Валдай / Valday	342	248	310	400	73,3	68,3	10,77	8,95
Альфа / Alfa	343	261	295	410	73,3	65,3	10,58	9,35
Татьяна / Tatyana	359	244	330	350	71,5	67,8	10,35	8,75
Московская 12 / Moskovskaya 12	327	306	425	505	75,8	67,3	10,3	9,85
Немчиновский 1 / Nemchinovsky 1	355	268	295	555	71,3	66,3	11,20	9,8
F	3,5*	3,1*	5,1*	6,1*	2,6*	NS	3,0*	2,6*
HCP ₀₅ ; NSR ₀₅	54	47	148	104	9,1		0,53	0,70

Примечание: HCP₀₅ – наименьшая существенная разница

Note: NSR₀₅ is the least significant difference

симальная высота амилограммы у них изменяется от 350 до 650 е. а.

По всем без исключения показателям реологических свойств водной суспензии шрота в годы исследований наблюдались достоверные межсортовые различия (табл. 3).

Максимальные значения вязкости наблюдались у сортов 'Фаленская 4' и 'Рушник' в 2021 г.; у 'Фаленской 4', 'Флоры', 'Румбы', 'Графини' – в 2022. Они также характеризуются более высокой массой зерна, прошедшего сквозь сито, то есть количеством зерен с шириной поперечного сечения менее 2,2 мм. Сорта саратовской селекции характеризуются крупнозерностью, с низкой массой прохода сквозь решето, при этом они обладают наименьшей вязкостью водной суспензии. В условиях Нижнего Поволжья интерес представляют селекционные формы, сочетающие вязкость суспензии на уровне межсортовой средней с массой прохода через решето порядка 35–30% и менее; например, гибрид Немчиновский 1, сорта 'Московская 12', 'Татьяна', 'Альфа', 'Таловская 44', 'Таловская 45', 'Презент', 'Роксана', 'Офелия', 'Голубка', 'Паулинка', 'Радонь', 'Тантана'. По скорости изменения вязкости суспензии выделяется на минимальном уровне сорт 'Марусенька', формируя высоконатурное, наиболее округлое зерно, с наименьшей массой фракции зерна (г) менее 2,2 × 20,0 мм в 100 г. В среднем сорта характеризуются более высокой скоростью нарастания вязкости в течение первых 10 минут эксперимента, в последующем скорость снижается в 1,7–1,8 раза.

Для комплексного изучения показателей качества зерна в их взаимосвязи с фракционным составом зерна был проведен расчет коэффициентов корреляции и де-

терминации между признаками на генотипическом уровне, с учетом сортов и полевых повторностей (табл. 4). На межсортовом уровне достоверной корреляции между содержанием белка, а также числом падения и фракционным составом зерна не наблюдалось, что и было прогнозируемо, так как содержание белка зависит от поступления макроэлемента азота и его перераспределения в органах растения под влиянием складывающихся температурных условий июня (Derevyanko, 1989). Показатель «число падения» зависит от качества и количества крахмала и особенно от активности фермента α-амилазы. Отмечается значимая средняя корреляция по повторностям $r_g = 0,50^{**} - 0,62^{**}$ между показателями высоты амилограммы; коэффициент детерминации, отражающий долю изменений (%), которые в данном показателе зависят от фактора «масса мелкой фракции зерна», составил 25–38%. Эти данные согласуются с исследованиями А. А. Гончаренко (Goncharenko, 2014). Выявлена средняя и сильная взаимосвязь массы 1000 зерен и фракционного состава зерна. Данные показатели в отдельные годы могут взаимопределяться на 86%. Взаимосвязь с натурной массой более стабильна по годам. Наиболее сильная и значимая – это зависимость показателей, отражающих реологические свойства суспензии шрота и фракционного состава зерна сортов, который в 2021, 2022 г на 83–67% в среднем определяет вязкость суспензии в течение эксперимента, а также на 69–58% определяет скорость нарастания вязкости. Полученные результаты согласуются с данными канадских исследователей (Gan et al., 1997), которые рекомендуют обращать внимание при отборе генотипов по вязкости на отношение массы зерновки к ее ширине.

Таблица 3. Количественная выраженность показателей, характеризующих реологические свойства водных суспензий на основе ржаного шрота, и значимость их различий в зависимости от генотипа сорта
Table 3. Quantitative expression of indicators characterizing rheological properties of meal/water slurries based on rye flour, and the significance of their differences depending on the cultivar's genotype

Сорт / Cultivar	Показатели реограммы вискографа, е. в. / Viscograph rheogram values, v. u.						Скорость изменения вязкости, е. в./мин / Viscosity change rate, v. u./min			
	2021 г.			2022 г.			2021 г.		2022 г.	
	BC ₀ VS ₀	BC ₁₀ VS ₁₀	BC ₃₀ VS ₃₀	BC ₀ VS ₀	BC ₁₀ VS ₁₀	BC ₃₀ VS ₃₀	\bar{V}_{10}	\bar{V}_{30}	\bar{V}_{10}	\bar{V}_{30}
Марусенька / Marusenka	75	105	140	100	115	200	3,0	2,2	2,0	3,3
Саратовская 7 / Saratovskaya 7	85	140	175	130	185	220	5,5	3,0	5,5	3,0
Саратовская 10 / Saratovskaya 10	90	120	150	130	180	230	3,0	2,0	5,0	3,3
Радонь / Radon	100	210	270	140	230	295	11,0	5,7	9,0	5,2
Тантана / Tantana	115	220	280	200	290	395	10,5	5,5	9,0	6,7
Подарок / Podarok	120	205	260	170	245	340	8,5	4,7	7,5	5,6
Рушник / Rushnik	160	340	455	150	245	330	18,0	9,8	9,5	6,0
Фаленская 4 / Falenskaya 4	215	360	460	195	385	515	14,5	8,2	19,0	10,6
Флора / Flora	210	315	390	215	435	550	10,5	6,0	22,0	11,2
Румба / Rumba	160	320	395	210	360	490	16,0	7,8	15,0	12,3
Графиня / Grafinya	170	293	380	205	360	475	12,3	7,0	15,5	7,3
Чулпан 7 / Chulpan 7	125	230	303	125	275	375	10,5	5,9	15,0	6,6
Таловская 41 / Talovskaya 41	120	190	250	165	280	355	7,0	4,3	11,5	6,3
Таловская 44 / Talovskaya 44	110	175	215	120	235	310	6,5	3,5	11,5	6,0
Таловская 45 / Talovskaya 45	110	175	230	130	240	305	6,5	4,0	11,0	5,8
Безенчукская 110 / Bezenchukskaya 110	90	120	150	140	200	265	6,5	4,5	6,0	4,2
Безенчукская 87 / Bezenchukskaya 87	100	155	215	120	175	220	5,5	3,8	5,5	3,3
Роксана / Roksana	160	270	330	155	275	360	11,0	5,7	12,0	6,8
Антарес / Antares	95	145	200	145	220	290	5,0	3,5	7,5	4,8
Презент / Prezent	115	215	290	130	235	315	10,0	5,9	10,5	6,3
Офелия / Ofeliya	115	220	285	165	270	330	10,5	5,7	10,5	5,5
Голубка / Golubka	110	210	285	145	250	335	10,0	5,9	10,5	6,3
Паулинка / Paulinka	135	245	315	150	225	315	11,0	6,0	7,5	5,6
Валдай / Valday	90	155	220	130	220	285	7,5	4,3	9,0	5,2
Альфа / Alfa	105	205	260	140	230	300	10,0	5,2	9,0	5,3
Татьяна / Tatyana	115	200	260	145	265	365	8,5	4,9	12,0	6,5
Московская 12 / Moskovskaya 12	100	195	260	160	275	360	9,5	5,4	12,0	6,6

Таблица 3. Окончание

Table 3. The end

Сорт / Cultivar	Показатели реограммы вискографа, е. в. / Viscograph rheogram values, v. u.						Скорость изменения вязкости, е. в./мин / Viscosity change rate, v. u./min			
	2021 г.			2022 г.			2021 г.		2022 г.	
	BC ₀ VS ₀	BC ₁₀ VS ₁₀	BC ₃₀ VS ₃₀	BC ₀ VS ₀	BC ₁₀ VS ₁₀	BC ₃₀ VS ₃₀	\bar{V}_{10}	\bar{V}_{30}	\bar{V}_{10}	\bar{V}_{30}
Немчиновский 1 / Nemchinovsky 1	120	215	275	145	260	355	9,5	5,2	11,5	7,0
F	4,5*	13,9*	16,4*	3,3*	5,0*	5,3*	8,1*	4,3*	4,2*	3,4*
HCP ₀₅ , NSR ₀₅	48	51	60	48	84	107	3,7	2,9	5,7	3,3

Примечание: BC₀ – вязкость суспензии при температуре 20°C в единицах вискографа (е. в.); BC₁₀, BC₃₀ – вязкость суспензии после 10 и 30 минут эксперимента в единицах вискографа (е. в.); HCP₀₅ – наименьшая существенная разница

Note: VS₀ is the viscosity of the slurry at 20°C in viscograph units (v. u.); VS₁₀, VS₃₀ is the viscosity of the slurry after 10 and 30 minutes of the experiment in viscograph units (v. u.); NSR₀₅ is the least significant difference

Таблица 4. Взаимосвязь показателей качества зерна с его фракционным составом

Table 4. Relationship between grain quality indicators and the fractional composition of grain

Показатель качества Quality indicator	Масса фракции зерна (г) менее 2,2 × 20,0 мм в 100 г Grain fraction weight (g) less than 2.2 × 20.0 mm per 100 g			
	Коэффициент корреляции, r _g Correlation coefficient, r _g		Коэффициент детерминации, d _{yx} Determination coefficient, d _{yx}	
	2021 г.	2022 г.	2021 г.	2022 г.
Натурная масса зерна, г/л / Grain test weight, g/L	-0,67**	-0,68**	0,45	0,46
Масса 1000 зерен, г /1000 grain weight, g	-0,58**	-0,93**	0,34	0,86
Содержание белка, % Protein content, %	0,19	-0,31	0,04	0,1
Число падения, с / Falling number, sec	0,30	0,33	0,09	0,1
Высота амилограммы, е. а. / Amylogram height, a. u.	0,50**	0,62**	0,25	0,38
Показатели реологических свойств суспензий шрот / вода / Indicators of rheological properties of the meal/water slurry				
BC ₀ , е. в. / VS ₀	0,91**	0,68**	0,83	0,46
BC ₁₀ , е. в. / VS ₁₀	0,91**	0,88**	0,83	0,77
BC ₃₀ , е. в. / VS ₃₀	0,91**	0,89**	0,83	0,79
е. в./мин / v. u./min	0,78**	0,78**	0,61	0,61
е. в./мин / v. u./min	0,88**	0,75**	0,77	0,56
Натурная масса зерна, г/л / Grain test weight, g/L				
Масса 1000 зерен, г / 1000 grain weight, g	0,49**	0,68**	0,24	0,46
Высота амилограммы, е. а. / Amylogram height, a. u.				
Число падения, с / Falling number, sec	0,61**	0,59**	0,37	0,35

Примечание: ** – значимо на 1-процентном уровне

Note: ** – statistically significant at the 1% level

Выводы

В условиях Нижнего Поволжья интерес с точки зрения селекционной работы и приемлемости к выращиванию товарных партий зерна хлебопекарного назначения имеют сорта, сочетающие такие показатели, как натурная масса зерна на уровне 715 г/л, средние данные по вязкости суспензии шрота, масса фракции зерна менее $2,2 \times 20,0$ мм – до 30% от общей. В связи с этим хорошую перспективу в производстве имеет отечественный гибрид Немчиновский 1. Сорта 'Валдай', 'Безенчукская 87', 'Безенчукская 110', 'Саратовская 10', 'Саратовская 7', 'Марусенька' отличаются высоким выходом зерна (до 96%) с шириной поперечного сечения более 2,2 мм. При высоких показателях числа падения и максимальной высоты амилограммы рекомендуется применение муки из такого зерна в изготовлении формовых изделий. Сорта с низкой вязкостью водной суспензии шрота, а следовательно – низким количеством водорастворимых пентозанов применяются в производстве кормов, а с максимальной вязкостью суспензии представляют интерес для селекционных программ на повышение содержания пентозанов.

Выявлена положительная высокозначимая сопряженность между всеми пятью показателями, характеризующими реологические свойства водной суспензии шрота сортов ржи, и фракционным составом зерна на уровне $0,82^* - 0,91^*$. Содержание фракции мелкого зерна до 30% от общей массы, масса 1000 зерен в пределах 29,0–31,0 г и удлиненная форма зерновки – фенотипические признаки в пользу более высокого содержания пентозанов.

References / Литература

- Boros D., Marquardt R.R., Slominski B.A., Guenter W. Extract viscosity as an indirect assay for water-soluble pentosan content in rye. *Cereal Chemistry*. 1993;70(5):575-580.
- Derevyanko A.N. Weather and grain quality of winter crops (Pogoda i kachestvo zerna ozimyykh kultur). Leningrad; 1989. [in Russian] (Деревянко А.Н. Погода и качество зерна озимых культур. Ленинград; 1989.)
- Ermolaeva T.Ya., Nuzhdina N.N., Goverdov D.V., Zlobina L.N., Krupnova O.V., Osyka I.A. et al. Adaptivity of winter rye varieties on reological properties of aqueous suspensions of meal. *Russian Agricultural Sciences*. 2021;(4):27-32. [in Russian] (Ермолаева Т.Я., Нуждина Н.Н., Говердов Д.В., Злобина Л.Н., Крупнова О.В., Осыка И.А. и др. Адаптивность сортов озимой ржи по реологическим свойствам суспензии шрота. *Российская сельскохозяйственная наука*. 2021;(4):27-32). DOI: 10.31857/S2500262721040062
- Gan Y.T., McLeod J.G., Scoles G.J., Campbell G.L. Extract viscosity of winter rye: Variation with temperature and precipitation. *Canadian Journal of Plant Science*. 1997;77(4):555-560. DOI: 10.4141/P96-129
- Goncharenko A.A. Topical issues of winter rye breeding (Aktualnye voprosy selektsii ozimoy rzhi). Moscow; 2014. [in Russian] (Гончаренко А.А. Актуальные вопросы селекции озимой ржи. Москва; 2014).
- GOST 16990-2017. Interstate standard. Rye. Specifications. Moscow: Standartinform; 2019. [in Russian] (ГОСТ 16990-2017. Межгосударственный стандарт. Рожь. Технические условия. Москва: Стандартинформ; 2019). URL: <https://files.stroyinf.ru/Data/654/65485.pdf> [дата обращения: 23.03.2023].
- Ismagilov R.R., Gaysina A.V. The content of water soluble pentosans in rye grain different factions. *Beer and Beverages*. 2015;(3):44-46. [in Russian] (Исмагилов Р.Р., Гайсина А.Ф. Содержание водорастворимых пентозанов в зерне ржи разной фракции. *Пиво и напитки*. 2015;(3):44-46).
- Kulevatova T.B., Kayrgaliev D.V., Andreeva L.V. Ermolaeva T. Ya., Zlobina L.N., Nuzhdina N.N. Quality of winter rye grain. Educational and methodological guide (Kachestvo zerna ozimoy rzhi. Uchebno-metodicheskoye posobiye). A.I. Pryanishnikov (ed.). Saratov; 2016. [in Russian] (Кулеватова Т.Б., Кайргалиев Д.В., Андреева Л.В., Ермолаева Т.Я., Злобина Л.Н., Нуждина Н.Н. Качество зерна озимой ржи: Учебно-методическое пособие / под ред. А.И. Прянишникова. Саратов; 2016).
- Munzing K., Pottebaum R., Wolf K. Mutterkorn im Roggen und Konsequenzen für die Mühle. *Getreidetechnologie*. 2004;58(6):349-356. [in German]
- Ponomareva M.L., Ponomarev S.N. Optimization of grain quality parameters for winter rye breeding. *Vavilov Journal of Genetics and Breeding*. 2019;23(3):320-327. [in Russian] (Пономарева М.Л., Пономарев С.Н. Оптимизация параметров качества зерна для селекции озимой ржи. *Вавиловский журнал генетики и селекции*. 2019;23(3):320-327). DOI: 10.18699/vj19.496
- Ponomareva M.L., Ponomarev S.N. Scientific fundamentals of winter rye breeding. Monograph (Nauchnye osnovy selektsii ozimoy rzhi. Monografiya). Kazan: FEN; 2019. [in Russian] (Пономарева М.Л., Пономарев С.Н. Научные основы селекции озимой ржи: Монография. Казань: ФЭН; 2019).
- Ponomareva M.L., Ponomarev S.N. Gilmullina L.F., Mannapova G.S. Phenotypic assessment of pentosane content in rye solvent cake by method of viscosity determination of water extract. *Achievements of Science and Technology of AIC*. 2015;29(11):32-35. [in Russian] (Пономарева М.Л., Пономарев С.Н., Гильмуллина Л.Ф., Маннапова Г.С. Фенотипическая оценка содержания пентозанов в ржаном шроте методом определения вязкости водного экстракта. *Достижения науки и техники АПК*. 2015;29(11):32-35).
- Shakirzyanov A.H., Leshchenko N.I., Nikonorova I.M., Agafonova V.A. Promising samples of winter rye for breeding for forage purposes under conditions of the south-western Cis-Urals. *Achievements of Science and Technology of AIC*. 2019;33(8):38-42. [in Russian] (Шакирзянов А.Х., Лещенко Н.И., Никонорова И.М., Агафонова В.А. Перспективные образцы озимой ржи для селекции кормовой ржи в условиях юго-западного Предуралья. *Достижения науки и техники АПК*. 2019;33(8):38-42). DOI: 10.24411/0235-2451-2019-10808

Информация об авторах

Надежда Николаевна Нуждина, кандидат сельскохозяйственных наук, старший научный сотрудник, Федеральный аграрный научный центр Юго-Востока, 410010 Россия, Саратов, ул. Тулайкова, 7, schirschowa@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0000-4706-961X>

Даниил Александрович Жиганов, младший научный сотрудник, Федеральный аграрный научный центр Юго-Востока, 410010 Россия, Саратов, ул. Тулайкова, 7, zhigdnk@bk.ru, <https://orcid.org/0000-0002-8724-7043>

Татьяна Яковлевна Ермолаева, кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник, Федеральный аграрный научный центр Юго-Востока, 410010 Россия, Саратов, ул. Тулайкова, 7, yaresko.tanya@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0000-7016-6530>

Татьяна Борисовна Кулеватова, кандидат биологических наук, ведущий научный сотрудник, Федеральный аграрный научный центр Юго-Востока, 410010 Россия, Саратов, ул. Тулайкова, 7, tanjakulevatova@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-9564-7127>

Людмила Николаевна Злобина, кандидат сельскохозяйственных наук, старший научный сотрудник, Федеральный аграрный научный центр Юго-Востока, 410010 Россия, Саратов, ул. Тулайкова, 7, L9172193438@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-3866-8060>

Любовь Владимировна Андреева, кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник, Федеральный аграрный научный центр Юго-Востока, 410010 Россия, Саратов, ул. Тулайкова, 7, l.v.andreeva_75@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-3631-1084>

Валентина Николаевна Куликова, научный сотрудник, Федеральный аграрный научный центр Юго-Востока, 410010 Россия, Саратов, ул. Тулайкова, 7, vkulikova@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-7192-0208>

Нина Алексеевна Салманова, младший научный сотрудник, Федеральный аграрный научный центр Юго-Востока, 410010 Россия, Саратов, ул. Тулайкова, 7, Nina-As55@yandex.ru, <https://orcid.org/0009-0004-0079-1954>

Вадим Николаевич Нечаев, лаборант-исследователь, Федеральный аграрный научный центр Юго-Востока, 410010 Россия, Саратов, ул. Тулайкова, 7, vadimkasteam@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0004-7568-6972>

Information about the authors

Nadezhda N. Nuzhdina, Cand. Sci. (Agriculture), Senior Researcher, Federal Center of Agriculture Research of the South-East Region, 7 Tulaikova St., Saratov 410010, Russia, schirschowa@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0000-4706-961X>

Daniil A. Zhiganov, Associate Researcher, Federal Center of Agriculture Research of the South-East Region, 7 Tulaikova St., Saratov 410010, Russia, zhigdnk@bk.ru, <https://orcid.org/0000-0002-8724-7043>

Tatyana Y. Ermolaeva, Cand. Sci. (Agriculture), Leading Researcher, Federal Center of Agriculture Research of the South-East Region, 7 Tulaikova St., Saratov 410010, Russia, yaresko.tanya@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0000-7016-6530>

Tatyana B. Kulevatova, Cand. Sci. (Biology), Leading Researcher, Federal Center of Agriculture Research of the South-East Region, 7 Tulaikova St., Saratov 410010, Russia, tanjakulevatova@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-9564-7127>

Liudmila N. Zlobina, Cand. Sci. (Agriculture), Senior Researcher, Federal Center of Agriculture Research of the South-East Region, 7 Tulaikova St., Saratov 410010, Russia, L9172193438@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-3866-8060>

Liubov V. Andreeva, Cand. Sci. (Agriculture), Leading Researcher, Federal Center of Agriculture Research of the South-East Region, 7 Tulaikova St., Saratov 410010, Russia, l.v.andreeva_75@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-3631-1084>

Valentina N. Kulikova, Researcher, Federal Center of Agriculture Research of the South-East Region, 7 Tulaikova St., Saratov 410010, Russia, vkulikova@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-7192-0208>

Nina A. Salmanova, Associate Researcher, Federal Center of Agriculture Research of the South-East Region, 7 Tulaikova St., Saratov 410010, Russia, Nina-As55@yandex.ru, <https://orcid.org/0009-0004-0079-1954>

Vadim N. Nechaev, Laboratory Research Assistant, Federal Center of Agriculture Research of the South-East Region, 7 Tulaikova St., Saratov 410010, Russia, vadimkasteam@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0004-7568-6972>

Вклад авторов: Нуждина Н.Н. – 15%; Жиганов Д.А. – 14%; Ермолаева Т.Я. – 14%; Кулеватова Т.Б. – 14%; Злобина Л.Н. – 14%; Андреева Л.В. – 14%; Куликова В.Н. – 5%; Салманова Н.А. – 5%; Нечаев В.Н. – 5%.

Contribution of the authors: Nuzhdina N.N. – 15%; Zhiganov D.A. – 14%; Ermolaeva T.Ya. – 14%; Kulevatova T.B. – 14%; Zlobina L.N. – 14%; Andreeva L.V. – 14%; Kulikova V.N. – 5%; Salmanova N.A. – 5%; Nechaev V.N. – 5%.

Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interests: the authors declare no conflicts of interests.

Статья поступила в редакцию 15.06.2023; одобрена после рецензирования 31.08.2023; принята к публикации 05.12.2023. The article was submitted on 15.06.2023; approved after reviewing on 31.08.2023; accepted for publication on 05.12.2023.