

АДАПТИВНОСТЬ СОРТОВ ОЗИМОЙ РЖИ ПО РЕОЛОГИЧЕСКИМ СВОЙСТВАМ СУСПЕНЗИИ ШРОТА

Т.Я. Ермолаева, Н.Н. Нуждина, Д.В. Goverдов, Л.Н. Злобина, кандидаты сельскохозяйственных наук,
О.В. Крупнова, доктор биологических наук,
И.А. Осыка, Т.Б. Кулеватова, кандидаты биологических наук

Федеральный аграрный научный центр Юго-Востока,
410010, Саратов, ул. Тулайкова, 7
E-mail: raiser_saratov@mail.ru

Исследования проводили с целью сравнительной оценки содержания пентозанов в зерне и определения реологических свойств водных суспензий шрота (1:4) 23 районированных сортов озимой ржи отечественной селекции. Работу выполняли в 2017–2019 гг. Определяли показатели вязкости во времени и скорость её нарастания, связь динамики изменения вязкости водной суспензии с показателями крупности зерна, объёма формового хлеба, отношения высоты к диаметру подового хлеба; рассчитывали показатели адаптивности сортов по вязкости суспензии, отражающей содержание пентозанов в зерне. Для улучшения низкопентозановых партий зерна при использовании в хлебопекарном производстве пригодна продукция сортов с высокой вязкостью суспензии ржаного шрота и стабильностью этого признака по показателю экологической регрессии ($S\%(RG) < 5$), в среднем за 3 года такими характеристиками обладали сорта Московская 12 (523,3 единицы вискографа), Тантана (670,0 еВ), Таловская 41 (581,7 еВ), Чулпан 7 (696,7 еВ), Фаленская 4 (790,0 еВ), Рушник (876,7 еВ). Зерно саратовских сортов Марусенька и Саратовская 7 с низкой вязкостью суспензии (330,0 еВ и 358,3 еВ соответственно) и высокой стабильностью этого признака по коэффициенту регрессии ($0,8 \leq b_i < 0,9$) можно использовать для выпечки формовых изделий, при производстве крахмала, кормов, этанола. В условиях повышенного увлажнения (2017 г.) сформировалось зерно с вязкостью суспензии VS_{30} на 30 % ниже, чем в среднем за 3 года.

ADAPTIVITY OF WINTER RYE VARIETIES ON REOLOGICAL PROPERTIES OF AQUEOUS SUSPENSIONS OF MEAL

Ermolaeva T.Ya., Nuzdina N.N., Goverdov D.V., Zlobina L.N.,
Krupnova O.V., Osyka I.A., Kulevatova T.B.

Federal Center of Agriculture Research of South-East Region,
410010, Saratov, ul. Toulaiikov, 7
E-mail: raiser_saratov@mail.ru

The rheological properties of aqueous suspensions of meal (1: 4) of 23 registered winter rye varieties of home selection for the purpose of their comparative assessment by the content of pentosans in the grain have been investigated. The relationship between the dynamics of changes in the viscosity of the water-meal suspension and the following indicators is studied: grain size, volume of molded loaves, the ratio of height to diameter at the bread volume. The calculation of indicators of adaptability of varieties was conducted according to the viscosity of the suspension after 30 minutes of the experiment to determine the rheological properties of aqueous meal suspensions, reflecting the content of pentosans in the grain. The tests were carried out in 2017-2019 with grain from two replicates of the field experiment from plots of 13.2 m². Grain of varieties with high viscosity of rye meal suspension and stability of this indicator under changing conditions (on average over 3 years) Moskovskaya 12 (523,3 Viscograph units), Tantan (679,0 Vu), Talovskaya 41 (581,7 Vu), Chulpan 7 (696,7 Vu), Falenskaya 4 (790,0 Vu), Rushnik (876,7 Vu) – $S\%(RG) < 5$ can be used to improve of low-pentosan grain batches for bakery production. The low viscosity of the suspension, in comparison with other zoned varieties, and the high stability of this trait in terms of the regression coefficient on average over 3 years, are demonstrated by the Saratov varieties Marusenka (330.0 Vu.), Saratovskaya 7 (358.3 Vu) – $0.8 \leq b_i < 0.9$ the grain of which can be used for baking molded products, in the production of starch, feed, ethanol. In conditions of increased moisture (2017), grain is formed with the viscosity of the VS_{30} suspension on 30% lower in comparison with the average for 3 years.

Ключевые слова: озимая рожь, сорт, вязкость суспензии, хлебопекарные показатели качества зерна, экологическая пластичность и стабильность

Key words: winter rye, variety, slurry viscosity, baking qualities of grain, ecological plasticity and stability

Актуальное направление селекции сельскохозяйственных культур – создание сортов целевого назначения. На сегодняшний день выведены и успешно используются сорта озимой ржи, предназначенные для хлебопекарной или комбикормовой промышленности. С учётом применения в пищевой отрасли различных добавок, корректирующих хлебопекарные качества муки, а также разработки и реализации комплекса мероприятий, улучшающих переваримость кормов, необходимо знать предварительные характеристики зерна сортов ржи для его эффективного использования.

Один из важных показателей качества зерна ржи – вязкость шрота, обусловленная содержанием водорастворимых пентозанов. Пентозаны – олигосахариды,

состоящие, главным образом, из арабинозы и ксилозы, которые относятся к классу гемицеллюлоз, растворимых в воде. Содержание пентозанов обусловлено генотипом и может определяться различными методами [1]. Высокая водоудерживающая способность пентозанов ржи способствует поддержанию объёма теста при его подъёме, а также определяет длительность хранения хлеба. Проведёнными ранее исследованиями показано, что при выпечке формового хлеба из зерна низкопентозановых сортов, выращенного в засушливой зоне, с высокими показателями качества (число падения, высота амилограммы) формируется мякиш с оптимальной пористостью [2]. При этом известна нежелательность использования зерна высокопентозановых сортов на

кормовые цели без дополнительной обработки, поскольку именно высокая вязкость вызывает проблемы с перевариванием корма у животных и птиц [3].

Косвенное определение количественного содержания пентозанов возможно путем оценки реологических свойств водных суспензий на вискографе фирмы «Brabender», так как экстрагируемая вязкость зерна ржи непосредственным образом связана с молекулярным весом водорастворимых пентозанов [4]. Возможность фенотипической оценки содержания пентозанов в ржаном шроте методом определения вязкости водного экстракта подтверждают М.Л. Пономарёва и соавт. [5].

Системы ржаной шрот – вода анализируют при температурах от 20 °С до 42 °С (рабочая область ферментов), оптимум действия пентозаназ – ферментов, катализирующих гидролиз пентозанов, находится в пределах от 35 °С до 42 °С. Система ржаной шрот – вода очень сложна по химическому составу и с точки зрения физической коллоидной химии относится к категории дилатантных жидкостей, которым присуще явление реопексии: вязкость системы увеличивается во времени при постоянном напряжении. Связано это с тем, что во время перемешивания при комнатной температуре группы крахмальных зёрен разрушаются, и к каждому из них по действием сил Ван-дер-Ваальса начинают прикрепляться кластеры дистиллированной воды (H₂O)_n, создавая гидрофобную оболочку. При этом разрушения самого крахмального зерна не происходит. Высота начальной точки кривой набухания показывает первоначальную вязкость в зависимости от гидрофильных свойств всех компонентов муки. Реологическое поведение, вернее динамика и кинетика, определяемое через численные значения скорости нарастания вязкости имеет важное значение для выбора режимов работы технологического оборудования при производстве хлебобулочных изделий [6]. Изучение влияния вязкости водного экстракта и выхода муки на динамику признаков качества зерна ржи показало, что они коррелятивно связаны между собой [7].

Цель исследований – оценить реологические свойства водной суспензии ржаного шрота из зерна сортов озимой ржи разного эколого-географического происхождения для определения генотипически обусловленного уровня пентозанов и оптимального направления использования. В задачи исследований входило: определить стабильность и пластичность генотипов по вязкости суспензии, а также динамику изменения реологических свойств; изучить на сортовом уровне взаимосвязь между косвенно оценённым содержанием пентозанов и крупностью зерна, а также между основными хлебопекарными показателями и уровнем вязкости водной суспензии шрота.

Методика. Работу проводили в лаборатории селекции и семеноводства озимой ржи ФГБНУ «НИИСХ Юго-Востока» в 2017–2019 гг. Объектом исследования служили 23 сорта озимой ржи отечественной селекции. В 2019 г. сорт Подарок в связи с недостатком оригинальных семян был заменен на новый районированный сорт Саратовская 10. Опытный участок расположен в пристанционном севообороте, г. Саратов. Предшественник – чёрный пар, площадь делянки – 13,2 м², повторность двукратная, норма высева – 4,0 млн. всхожих зёрен на гектар. Тип почвы – южный чернозём, рН – 5,4. Почвы хорошо оструктурены, обладают оптимальным водно-воздушным режимом, содержание гумуса 4,05...4,79 % (по Тюрину в модификации ЦИНАО), подвижного фосфора и калия (по Чирикову) – 9,5...38,6 и 140,0...150,0 мг/кг почвы, нитратного

азота (потенциметрическим методом на иономере) – 55,8...68,2 мг/кг почвы.

К особенностям метеоусловий активного вегетационного периода 2017 г. относятся пониженный температурный режим мая–июля (на 1° меньше нормы) и повышенное количество осадков, сумма которых за эти месяцы составила 219 мм (158 % нормы), ГТК_{мая-июля} = 1,4. Начало активной вегетации в 2018 г. также сопровождалось пониженным температурным режимом с мая по начало июня (на 4...7° ниже нормы), сумма осадков за июнь составила 8 мм (20 % от нормы), гидротермический коэффициент за май – июль был равен 0,6, что соответствует среднезасушливым условиям. Дожди пошли только в период уборки урожая. Лето 2019 г. характеризовалось высоким температурным режимом и пониженным количеством осадков. В июне температура воздуха превысила норму на 3,4 °С, а сумма осадков составила всего 7 мм (17 % от нормы). Гидротермический коэффициент за май–июль был равен 0,4, что соответствует сильнозасушливым условиям. В июле аномалия среднемесячной температуры воздуха была ниже среднемноголетней на 0,4 °С, сумма осадков составила 48 мм (107 % нормы), гидротермический коэффициент за май–июль – 0,6, что соответствует среднезасушливым условиям.

Реологические свойства водных суспензий шрота (соотношение шрот-вода 1:4) определяли на роторном вискографе фирмы «Brabender» по разработанной в лаборатории качества методике [2]. Вязкость суспензии в единицах вискографа (eВ) фиксировали при достижении температуры 20° (BC₁₀), а также через 10 и 30 минут эксперимента (BC₁₀, BC₃₀). Пониженная температура опыта позволяет замедлить активность ферментов вследствие снижения кинетических свойств молекул субстрата, при непрерывном смешивании вязкость суспензии увеличивается под влиянием реологических свойств алейроновых пентозанов. Кроме того, рассчитывали средние скорости изменения вязкости через 10 минут и 30 минут ($V_{10} = (BC_{10} - BC_0)/10$, $V_{30} = (BC_{30} - BC_0)/30$). Для исследования использовали зерно с двух полевых повторностей. Выпечку пробных хлебцев осуществляли безопарным методом из 300 г сеяной муки (сито № 45) по методике, рекомендованной при Госсортиспытании. У подовых хлебцев определяли отношение высоты (H) к диаметру (D); у формовых – объём (V, см³). Статистическую обработку результатов исследований проводили методами однофакторного и двухфакторного дисперсионного анализа, а также регрессионного анализа с использованием пакета программ статистического и биометрико-генетического анализа в растениеводстве и селекции AGROS (версия 2,07). Пластичность по коэффициенту регрессии b_i и стабильность по среднему квадрату отклонений от линии регрессии S²d_i (варианса стабильности) оценивали методом Эберхарта–Рассела [8]. Интерпретацию данных по стабильности на основе экологической регрессии проводили согласно методике Н.А. Плохинского [9]: очень малой доле взаимодействия генотипа со средней соответствует S% < 2,5; малой – S% < 5; средней – S% < 7,5; высокой S% < 10; очень высокой S% > 10.

Результаты и обсуждение. В 2017 г. достоверные отличия между сортами по вязкости суспензии наблюдались в течение всего опыта. Наименьшей величиной этого показателя характеризовались сорта Саратовская 7 (стандарт) и Марусенька (табл. 1). Следует отметить, что в засушливых степных условиях они формируют хорошо выполненное зерно с высокими величинами показателей высота амилограммы и число падения,

Табл. 1. Реологические свойства водных суспензий шрота сортов ржи, крупность зерна и показатели качества хлебцев (2017 г.)

Сорт	Показатель реограммы вискографа, еВ			Скорость изменения вязкости, еВ/мин		Масса 1000 зёрен, г	Отношение Н/Д	Объём формового хлебца, см ³
	BC ₀	BC ₁₀	BC ₃₀	V ₁₀	V ₃₀			
Марусенька	140	173	190	3,3	1,7	48,0	0,22	445
Валдай	170	250	280	8,0	4,4	39,0	0,28	420
Альфа	170	280	350	11,0	6,0	37,3	0,32	435
Татьяна	195	315	390	12,0	6,5	35,9	0,27	445
Московская 12	185	290	335	10,5	5,0	37,1	0,25	410
Саратовская 7	130	175	205	4,5	2,5	46,1	0,22	415
Радонь	220	355	445	13,5	7,5	36,7	0,27	410
Эстафета Татарстана	210	380	490	17,0	9,3	36,2	0,25	420
Тантана	235	390	500	15,5	8,9	36,6	0,31	400
Таловская 41	165	270	350	10,5	6,2	38,2	0,26	420
Таловская 33	200	310	405	11,0	6,9	37,1	0,29	420
Безенчукская 110	200	275	335	7,5	4,5	39,4	0,35	380
Безенчукская 87	165	230	270	6,5	3,5	39,7	0,28	395
Роксана	230	385	490	15,5	8,7	33,8	0,30	410
Антарес	160	255	315	9,5	5,3	38,4	0,27	400
Чулпан 7	215	360	465	14,5	8,3	38,4	0,30	390
Саратовская 7	130	185	215	5,5	2,8	44,3	0,25	415
Памяти Кунакбаева	210	370	475	16,0	8,9	39,2	0,35	400
Рушник	305	570	695	26,5	13,0	29,2	0,38	400
Снежана	250	455	565	20,5	10,7	30,6	0,32	395
Фаленская 4	280	475	580	20,5	10,0	26,8	0,30	420
Флора	285	520	650	23,5	12,2	30,2	0,33	370
Презент	245	420	525	17,5	9,3	32,6	0,32	400
F _{факт}	5,8*	14,0*	15,7*	14,3*	12,2*	11,2*		
НСР ₀₅	58,7	83,8	102,9	4,7	2,6	4,3		

* – значимо на 5 %-ном уровне.

что при выпечке позволяет получать хороший формовой хлеб.

При определении высоты амилограммы численные значения отражают реологическое поведение клейстеризованной водно-мучной суспензии, так как испытания проходят при постоянном повышении температуры с 30 °С до 64...85 °С, когда вязкость начинает уменьшаться, поскольку крахмал подвергается гидролизу. Для косвенного определения содержания пентозанов реологические свойства изучают при невысоких температурах. В наших исследованиях наибольшую вязкость наблюдали у сортов «северо-восточной» группы: Рушник, Флора, Фаленская 4, Снежана. При соответственно высоком содержании пентозанов они отличаются наименьшей крупностью зерна. Расчёт коэффициента корреляции показал наличие тесной обратной связи между вязкостью суспензии через 30 минут эксперимента и массой тысячи зёрен ($r = -0,90^{**}$). Аналогичные данные получены канадскими учёными, отметившими от-

рицательную связь вязкости водно-мучного экстракта с массой зерновки ($r = -0,89$) [10], а также в исследованиях под руководством Р. Р. Исмагилова [11], согласно результатам которых при увеличении толщины зерновки сорта Чулпан 7 на 1 мм содержание водорастворимых пентозанов снижалось на 1,01 %.

Скорость нарастания вязкости в течение 10 минут эксперимента варьировала в пределах от 10,0 до 26,5 еВ/мин. На втором этапе она снижалась в среднем на 54 %. Различия между сортами были достоверны. Наибольшей скоростью нарастания вязкости на втором этапе характеризовались выделенные ранее высокопентозановые сорта, а также сорта Памяти Кунакбаева, Чулпан 7, Роксана, Эстафета Татарстана, Тантана. Выпечка подовых хлебцев и последующее определение отношения их высоты к диаметру показали, что форму лучше держит тесто из муки сортов с высокой вязкостью (Флора, Рушник, Снежана, Памяти Кунакбаева, Тантана), а также отдельные образцы из муки сортов

со средней вязкостью шрота (Альфа, Безенчукская 110). Между скоростью нарастания вязкости через 10 минут эксперимента и отношением высоты к диаметру подового хлеба отмечена обратная корреляция средней силы ($r = -0,68^{**}$). Высокий объём формового хлеба и мягкий эластичный мякиш формировался при использовании для выпечки теста из муки сортов с невысокой вязкостью ржаного шрота (Марусенька, Саратовская 7), а также сортов со средней вязкостью через 30 минут эксперимента (Альфа, Татьяна, Валдай, Таловская 41, Таловская 33, Эстафета Татарстана). Расчёт коэффициента корреляции между BC_{30} и объёмом формового хлеба показал наличие слабой обратной связи, превышающей критические значения на 5 %-ном уровне ($r = -0,43^*$).

Вязкость суспензии ржаного шрота из зерна урожая 2018 г. была значительно выше, чем в 2017 г., при одновременном снижении крупности зерна в результате засухи (табл. 2). При среднем по сортам уменьшении массы 1000 зёрен на 21 %, вязкость суспензии BC_{30} возросла на 49 %.

Табл. 2. Реологические свойства водных суспензий шрота сортов ржи и крупность зерна (2018 г.)

Сорт	Показатель реограммы вискографа, еВ			Скорость изменения вязкости, еВ/мин		Масса 1000 зёрен, г
	BC_0	BC_{10}	BC_{30}	V_{10}	V_{30}	
Марусенька	190	275	335	8,5	4,8	34,7
Валдай	270	470	600	20,0	11,0	29,2
Альфа	370	450	740	8,0	12,3	29,6
Татьяна	295	585	685	29,0	13,0	25,7
Московская 12	240	465	565	22,5	10,9	28,1
Саратовская 7	180	290	370	11,0	6,3	34,8
Радонь	225	455	605	23,0	12,7	28,3
Эстафета Татарстана	285	565	695	28,0	13,7	27,4
Тантана	265	535	675	27,0	13,7	27,1
Таловская 41	260	515	635	25,5	12,5	29,4
Таловская 33	270	550	730	28,0	15,4	30,3
Безенчукская 110	265	465	625	20,0	20,0	30,2
Безенчукская 87	220	430	565	21,0	21,0	34,3
Роксана	215	325	425	11,0	11,0	30,7
Антарес	195	385	425	13,5	13,5	29,5
Чулпан 7	235	575	725	34,0	34,0	31,9
Саратовская 7	180	300	375	12,0	12,0	29,6
Памяти Кунакбаева	300	540	670	24,0	24,0	30,0
Рушник	345	755	925	41,0	41,0	21,8
Флора	345	700	825	35,5	35,5	22,6
Презент	245	460	595	21,5	21,5	27,5
Подарок	305	625	770	32,0	32,0	27,9
$F_{факт}$	4,7*	6,7*	9,4*	9,1*	16,9*	4,4*
$НСР_{05}$	68,7	143,2	150,4	8,7	7,0	5,3

* – значимо на 5 %-ном уровне.

Увеличилась и скорость нарастания вязкости, пределы вариационного ряда V_{10} составили 16,5...46,0 еВ/мин. Это имеет большое значение при использовании зерна, как на корм, так и в хлебопечении. Между BC_{30} и массой тысячи зёрен установлено наличие обратной корреляции ($r = -0,69^{**}$). По максимальному проявлению показателя BC_{30} выделены сорта Рушник, Флора, Подарок, Чулпан 7, Таловская 33, Альфа. Различия между перечисленными и низкопентозановыми достоверны сортами. Наименьшие в опыте 2018 г. величины показателя вязкости отмечены у саратовских сортов.

Вязкость суспензии ржаного шрота из зерна урожая 2019 г. через 30 минут повышалась в среднем на 76 %, при снижении крупности зерна, по сравнению с 2017 г., в результате влияния острозасушливых метеорологических условий в период формирования зерна в среднем на 19 % (табл. 3).

Размах варьирования скорости увеличения вязкости суспензии через 10 минут эксперимента составил 38 еВ/мин. При этом саратовские сорта сформировали зерно, реологические свойства суспензии которого соответствовали параметрам средней вязкости и были самыми низкими, относительно инорайонных сортов. Показатели вязкости суспензии шрота сортов Чулпан 7 и Саратовская 7 согласуются с данными других исследователей [12]. Саратовские сорта вполне пригодны для выпечки формового хлеба, а при выпечке подового хлеба необходима добавка пшеничной муки или муки из зерна ржи высокопентозановых сортов. Высокие вязкость суспензии и скорость её нарастания были характерны для сортов НИИСХ Северо-Востока и Башкирского НИИСХ. У сортов Таловская 41, Чулпан 7, Рушник, Фаленская 4, Презент отмечено наиболее высокое соотношение высоты к диаметру подовых хлебцев. Установлены достоверные положительные коэффициенты корреляции между величинами показателей $V_{10} - Н/Д$ ($r = 71^{**}$) и $BC_{30} - Н/Д$ ($r = 69^{**}$).

У всех сортов отмечена общая тенденция: по мере снижения крупности зерна в результате влияния абиотических факторов, соответствующих засухе, происходит ускорение динамики нарастания вязкости суспензии в течение времени опыта и повышение выраженности показателей вязкости как на начальном этапе при достижении температуры 10 °С, так и на заключительном (BC_{30}) этапе. Отмечена сортовая специфика содержания пентозанов, косвенно оцениваемого по вязкости. Генотипически обусловленные межсортовые различия отмечают и другие исследователи [13].

Ранее, в исследованиях на широком наборе сортов из коллекции ВИР при близких к оптимальным условиям для вегетации озимой ржи с учётом важности каждого показателя качества зерна были выделены и охарактеризованы 4 класса генотипов по вязкости суспензии через 30 минут опыта: 1 – менее 385 еВ; 2 – 385...570 еВ; 3 – 570...755 еВ; 4 – более 755 еВ [14]. Сорта первой группы, в связи с наименьшей вязкостью суспензии, наилучшим образом подходят для производства комбикормов. Формовой хлеб с хорошим мякишем из них можно выпекать при высоких величинах показателей «число падения» и «высота амиллограммы». Продукция генотипов второй группы более пригодна для хлебопечения, а также для приготовления кормов. Зерно сортов, относящихся к 3 и 4 группам, отличается высоким общим содержанием пентозанов, поэтому его использование в качестве компонентов кормов возможно только при дополнительной обработке. Они представляют наибольший интерес при выпечке подового хлеба, который имеет красивую форму и наилучшее соотношение высоты к диаметру [14].

Табл. 3. Реологические свойства водных суспензий шрота сортов ржи, крупность зерна и показатели качества хлебцев (2019 г.)

Сорт	Показатель реограммы вискографа, еВ			Скорость изменения вязкости, еВ/мин		Масса 1000 зёрен, г	Отношение Н/Д	Объём формового хлебца, см ³
	BC ₀	BC ₁₀	BC ₃₀	V ₁₀	V ₃₀			
Марусенька	170	335	465	16,5	9,9	39,9	0,24	430
Валдай	200	430	570	23,0	12,3	29,3	0,27	370
Альфа	215	490	625	27,5	13,7	27,5	0,28	405
Татьяна	230	520	655	29,0	14,2	29,6	0,28	400
Московская 12	250	525	670	27,5	14,0	27,6	0,28	430
Саратовская 7	185	370	500	18,5	10,5	37,4	0,28	410
Радонь	290	630	815	27,0	17,5	29,2	0,32	430
Тантана	290	660	835	37,0	18,2	28,8	0,31	440
Таловская 41	265	595	760	33,0	16,5	27,3	0,35	430
Таловская 33	295	640	810	34,5	17,2	27,0	0,32	420
Безенчукская 110	230	500	650	27,0	14,0	32,6	0,30	380
Безенчукская 87	180	380	540	20,0	12,0	35,1	0,27	400
Роксана	280	640	810	36,0	19,4	27,6	0,33	385
Антарес	190	380	520	19,0	12,4	34,2	0,30	400
Чулпан 7	290	700	900	41,0	20,4	33,8	0,37	390
Саратовская 7	200	380	505	18,0	10,2	35,0	0,26	370
Памяти Кунакбаева	290	750	950	46,0	22,0	32,5	0,32	390
Рушник	325	860	1010	53,5	22,0	20,8	0,43	410
Снежана	350	790	940	44,0	19,7	22,4	0,28	435
Фаленская 4	345	800	970	45,5	20,9	21,4	0,36	430
Флора	330	852	1015	46,3	22,8	21,4	0,31	415
Презент	250	570	750	32,0	16,7	28,6	0,37	400
Саратовская 10	170	340	460	17,0	9,7	36,9	0,29	400
F _{факт}	9,3*	27,0*	43,0*	10,1*	28,2*	5,2*		
HCP ₀₅	51,7	89,9	74,2	9,1	2,1	6,3		

* – значимо на 5 %-ном уровне.

В связи с значительным влиянием эдафических и метеорологических условий выращивания сортов на реологические свойства суспензии, для полноценного представления о возможности использования зерна различных сортов важно знать стабильность формирования генотипически обусловленного содержания водорастворимых пентозанов. В наших исследованиях (табл. 4) низкой стабильностью показателя вязкости по коэффициенту регрессии на индекс среды ($1,2 < b_1 \leq 1,4$) и высокой его выраженностью в среднем за 3 года характеризовались сорта Памяти Кунакбаева (698,3 еВ), Таловская 33 (648,3 еВ), Таловская 41 (581,7 еВ). Более стабильные ($0,9 < b_1 \leq 1,2$) и высокие величины вязкости шрота в среднем за 3 года отмечены у сортов Флора (830,0 еВ), Фаленская 4 (790,0 еВ), Снежана (753,3 еВ), Рушник (876,7 еВ), Радонь (621,7 еВ), Тантана (670,0 еВ). Сорта Валдай, Альфа, Татьяна, Московская 12 характеризовались достаточно высокой фенотипической стабильностью ($0,9 < b_1 \leq 1,2$) при оптимальном содержании пентозанов в среднем за 3 года – соответственно 483,3;

571,7; 576,7; 523,3. Сорта Марусенька (330,0 еВ), Саратовская 7 (358,3 еВ) относятся к стабильным низкопентозановым, при этом у Саратовской 7 отклонения от линии регрессии меньше, чем у Марусеньки.

Если рассматривать стабильность содержания пентозанов, косвенно оцениваемого по вязкости шрота, на основе экологической регрессии, то следует отметить, что у сортов ржи Безенчукская 87 и Роксана оно сильно и очень сильно зависит от складывающихся метеорологических условий. Их зерно в условиях повышенного увлажнения пригодно для приготовления комбикормов. То же самое можно сказать и о таких сортах, как Валдай, Альфа, Татьяна.

Таким образом, высокой вязкостью суспензии ржаного шрота и стабильностью величины этого показателя характеризуются сорта Московская 12, Тантана, Таловская 41, Чулпан 7, Фаленская 4, Рушник. Их продукцию можно использовать для подсортировки низкопентозанового зерна с целью выпечки улучшенных подовых изделий. Большинство изученных сортов

Табл. 4. Адаптивные свойства сортов озимой ржи по вязкости водных суспензий ржаного шрота через 30 минут эксперимента (2017–2019 гг.)

Сорт	Пластичность (b _i)	Стабильность (S ² d _i)	Экологическая регрессия (S % (RG))
Марусенька	0,83	767*	5,93
Валдай	0,98	11057*	15,38
Альфа	0,98	28667*	20,94
Татьяна	0,9	9637*	12,04
Московская 12	1,04	84*	1,24
Саратовская 7	0,9	489*	4,36
Радонь	1,1	4288*	7,45
Эстафета Татарстана	0,68	3281*	6,46
Тантана	1,01	1229*	3,7
Таловская 41	1,28**	197*	1,71
Таловская 33	1,29	2384*	5,33
Безенчукская 110	1,03	4612*	8,95
Безенчукская 87	0,91	9129*	14,74
Роксана	0,82	48477*	27,08
Антарес	0,62**	365*	3,22
Чулпан 7	1,33	368*	1,95
Саратовская 7	0,84*	244*	3,07
Памяти Кунакбаева	1,4	8544*	9,36
Рушник	0,99	387*	1,59
Снежана	1,13	1934*	4,13
Фаленская 4	1,2	136*	1,04
Флора	1,09	2580*	4,33
Презент	0,65	3816*	7,01

* – отклонение от линии регрессии значимо на 5 %-ном уровне (по F критерию); ** – отклонения от 1 значимы на 5 %-ном уровне (по t критерию).

относится к средне- и высокопентозановым, поэтому для изготовления из их зерна комбикормов необходимы дополнительные операции (например, смешивание с пшеницей, добавление ферментных препаратов и др.). Кроме того, для высокопентозановых сортов ржи характерна высокая скорость нарастания вязкости ржаного шрота, что также оказывает отрицательное воздействие при кормлении животных. Пониженное содержание пентозанов и высокая стабильность проявления этого признака характерны, прежде всего, для саратовских сортов. Относительно невысокую вязкость суспензии шрота в отдельные годы отмечали у сортов Безенчукская 87, Антарес, Роксана, Валдай. Они более пригодны для производства комбикормов. При формировании зерна в более влагообеспеченные годы (2017 г.) происходит снижение скорости нарастания вязкости и

выраженности показателя ВС₃₀. На генотипически различающемся материале в разные годы исследований отмечена устойчивая, значимая на 1 %-ном уровне, обратная связь между массой 1000 зёрен и реологическими свойствами (от -0,69** до -0,90**) и прямая – между скоростью нарастания вязкости ржаного шрота и соотношением высоты к диаметру у подового хлеба (от 0,68** до 0,71**). Качественный формовой ржаной хлеб может быть выпечен из зерна всех представленных образцов, что подтверждает в основном зерновое направление использования изученных сортов.

Литература.

1. Изучение содержания пентозанов в зерне популяционных сортов озимой ржи различными методами / М.Л. Пономарёва, С.Н. Пономарёв, Л.Ф. Гильмуллина и др. // *Достижения науки и техники АПК*. 2016. Т. 30. № 12. С. 10–13.
2. Урожайность и качество зерна современных сортов озимой ржи. / Н.Н. Нуждина, Т.Я. Ермолаева, Д.В. Кайргалиев и др. // *Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса*. 2018. №3 (51). С. 165–172.
3. Гончаренко А.А. Актуальные вопросы селекции озимой ржи. М.: ФГБНУ «Росинформагротех», 2014. С. 234.
4. Scoles G.J., Campbell G.L., McLeod J.G. Variability for grain extract viscosity in inbred lines and an F₂ population of rye (*Secale cereale* L.) // *Can. J. Plant Sci.* 1993. № 73. P. 3–6.
5. Фенотипическая оценка содержания пентозанов в ржаном шроте методом определения вязкости водного экстракта / М.Л. Пономарёва, С.Н. Пономарёв, Л.Ф. Гильмуллина и др. // *Достижения науки и техники АПК*. 2015. Т. 29. № 11. С. 32–35.
6. Черных В.Я., Иванов В.С. Регулирование сахарообразующей способности хлебопекарной муки. М.: ООО «Буки Веди», 2019. С. 85.
7. Динамика признаков качества зерна озимой ржи в зависимости от выхода муки и вязкости водного экстракта / А.А. Гончаренко, А.В. Осипова, С.А. Ермаков и др. // *Российская сельскохозяйственная наука*. 2017. №4. С. 3–9.
8. Eberhart S.P., Rassel W.A. Stability parameters for comparing varieties. // *Crop. Sci.* 1966. Vol. 6. No. 1. P. 36–40.
9. Плохинский Н.А. Биометрия. М.: Изд-во Моск. ун-та, 1970. 367с.
10. McLeod J.G., Gan Y., Scoles G.J. Extract viscosity and feeding quality of rye // *Vortr. Pflanzenzucht*. 1996. № 35. P. 97–108.
11. Исмагилов Р.Р., Гайсина А.Ф. Содержание водорастворимых пентозанов в зерне ржи разной фракции // *Пиво и напитки*. 2015. № 3. С. 44–46.
12. Исмагилов Р.Р. Изменчивость содержания водорастворимых пентозанов в зерне озимой ржи // *Достижения науки и техники АПК*. 2012. № 6. С. 35–36.
13. Генотипическая изменчивость содержания пентозанов в зерне озимой ржи / М.Л. Пономарёва, С.Н. Пономарёв, М.Ш. Тагиров и др. // *Сельскохозяйственная биология*. 2017. Т. 52. № 5. С. 1041–1048.
14. Результаты изучения качества зерна озимой ржи / Н.Н. Нуждина, Т.Я. Ермолаева, Т.Б. Кулеватова и др. // *Аграрный вестник Юго-Востока*. 2016. №1-2 (14-15). С. 35–37.

Поступила в редакцию 13.04.2021
 После доработки 20.05.2021
 Принята к публикации 23.06.2021