

Хранение и переработка

УДК 633.14 «324»: 581.192: 664.6

DOI 10.31857/S2500262724020139 EDN GSAXZJ

ВЛИЯНИЕ ПАРАМЕТРОВ УГЛЕВОДНО-АМИЛАЗНОГО КОМПЛЕКСА И СОДЕРЖАНИЯ БЕЛКА В ЗЕРНЕ НА ХЛЕБОПЕКАРНОЕ КАЧЕСТВО ОЗИМОЙ РЖИ**Е. Н. Шаболкина**, кандидат сельскохозяйственных наук, **С. Н. Шевченко**, доктор сельскохозяйственных наук, профессор, академик РАН, **А. А. Бишарев**, кандидат сельскохозяйственных наук, **Н. В. Анисимкина***Самарский научно-исследовательский институт сельского хозяйства им. Н. М. Тулайкова – филиал Самарского федерального исследовательского центра РАН, 446254, Самарская обл., п. Безенчук, ул. Карла Маркса, 41
E-mail: samniish@mail.ru*

Исследования проводили в 2018–2022 гг. в Самарской области с целью выявления влияния параметров углеводно-амилазного комплекса и содержания белка в зерне на хлебопекарные свойства для использования наиболее информативных показателей в селекции озимой ржи. Материалом служили 4 сорта – Саратовская 7, Безенчукская 87, Безенчукская 110, Антарес, и 3 перспективные линии – ГК-80, ГКНП-3, ГКНП-4. Почва – чернозем обыкновенный, среднесиловой, среднесуглинистый, предшественник – чистый пар. Величины основных параметров, влияющих на реологические свойства ржаного теста и хлебопекарную оценку, достигали следующих значений: «число падения» – 188...255 с, максимальная вязкость на амилографе – 424...570 е.а. Связь между высотой амилограммы и «числом падения» в 2019, 2020 и 2022 гг. была тесная положительная ($r=0,89...0,95$). В 2020 и 2021 гг. наблюдали положительную корреляцию между высотой амилограммы и объемным выходом хлеба ($r=0,82...0,82$), а число падения положительно коррелировало с объемным выходом хлеба ($r=0,65; r=0,76$). Наибольшее содержание водорастворимых пентозанов в зависимости от сорта отмечали в 2019 г. – 2,70...3,55%, в этот год так же наблюдали самый высокий объем хлеба (520...655 см³) и положительную связь между величинами этих показателей ($r=0,72$). Взаимосвязь между содержанием пентозанов и «числом падения» была положительной в 2019, 2020 и 2022 гг. ($r=0,70...0,80$). Содержание белка положительно коррелировало с объемным выходом хлеба ($r=0,75...0,80$) только в 2018 и 2019 гг. Установлена отрицательная корреляционная зависимость между содержанием белка и высотой амилограммы ($r=-0,82...-0,78$). Между содержанием белка и числом падения в 2019, 2020 и 2022 гг. связь была отрицательной ($r=-0,84...-0,67$). При стабилизации белка на приемлемом уровне 12,0...12,8% отбор сортов озимой ржи на хлебопечение необходимо вести сопряженную селекцию по высоте амилограммы и «числу падения».

INFLUENCE OF PARAMETERS OF THE CARBOHYDRATE-AMYLASE COMPLEX AND PROTEIN CONTENT IN GRAIN ON THE BAKING QUALITY OF WINTER RYE**E. N. Shabolkina, S. N. Shevchenko, A. A. Bisharev, N. V. Anisimkina***Tulajkov Samara Research Agricultural Institute, Samara Federal Research Center, Russian Academy of Sciences, 446254, Samarskaya obl., Bezenchukskii r-n, pos. Bezenchuk, ul. K. Marksa, 41,
E-mail: samniish@mail.ru*

The studies were carried out in 2018–2022. in the Samara region in order to identify the influence of the parameters of the carbohydrate-amylase complex and protein content in grain on baking properties in order to use the most informative indicators in the selection of winter rye for baking in the conditions of the Middle Volga region. The material was 4 varieties and 3 promising lines – Saratovskaya 7 (standard), Bezenchukskaya 87, Bezenchukskaya 110, Antares and lines GK-80, GKNP-3, GKNP-4. The soil is ordinary chernozem, medium deep, medium loamy, predecessor is pure fallow, repeated four times. The main parameters that determine the state of starch and influence the rheological properties of rye dough and baking evaluation reached: the «falling number» indicator – 188...255 s, the maximum viscosity on the amylograph – 424...570 u.a. The relationship between the height of the amylogram and the «falling number» in 2019, 2020 and 2022. was strongly positive ($r=0,95; r=0,89; r=0,92$). In 2020 and 2021 There was a positive correlation between the height of the amylogram and the volumetric yield of bread ($r=0,86; r=0,82$), the falling number also in these years was significantly positively correlated with the volumetric yield of bread ($r=0,65; r=0,76$). On average, over the years of research, the content of water-soluble pentosans, depending on the variety, varied from 2.46 to 3.00%. In 2019, the highest values of this indicator were noted – 2.70...3.55%, the volume of bread was also the highest – 520...655 cm³, and only this year a positive relationship was noted between the values of these indicators ($r=0,72$). The relationship between pentosans and the «falling number», which is also responsible for the baking properties of winter rye, was significantly positive in 2019, 2020 and 2022. ($r=0,80; r=0,78; r=0,70$). Protein content was positively correlated with bread volume yield ($r=0,80; r=0,75$) only in 2018 and 2019. A negative correlation was established between protein content and amylogram height in 2019, 2020, 2021, 2022. ($r=-0,80; r=-0,80; r=-0,82; r=-0,78$). There is also a negative relationship between protein content and the number of falls in 2019, 2020 and 2022 ($r=-0,84; r=-0,80; r=-0,67$). When selecting varieties of winter rye for baking, it is necessary to carry out conjugate selection based on the height of the amylogram and the «falling number» while stabilizing the protein at an acceptable level of 12.0...12.8%.

Ключевые слова: рожь озимая (*Secale cereale*), крахмал, ферментативная активность, пентозаны, хлебопекарная оценка, коэффициенты корреляции.

Key words: winter rye (*Secale cereale*), starch, enzymatic activity, pentosans, baking assessment, correlation coefficients.

Правильное питание – ключевой компонент здорового образа жизни, в качестве неотъемлемого атрибута которого можно рассматривать ежедневный прием ржаных и ржано-пшеничных продуктов с высоким содержанием клетчатки, минеральных веществ и витаминов.

Озимая рожь продовольственного назначения занимает значимый сегмент современного рынка и расширение разнообразия хлебобулочных изделий с добавлением сеяной, обдирной и обойной муки из зерна ржи очень перспективно. Белки ржаной муки отличаются высоким

содержанием незаменимых аминокислот, в том числе дефицитного лизина и по питательной ценности превосходят белки пшеничной муки, наличие биологически активных, ароматических веществ делают ржаные хлебобулочные изделия не только вкусными, но и полезными [1, 2]. Такая продукция пользуется широким спросом среди населения, поэтому необходимость в сортах ржи с высокими технологическими и хлебопекарными качествами зерна значительно повышается.

При оценке хлебопекарных достоинств ржаной муки наибольшее значение традиционно отводят углеводно-амилазному комплексу: состоянию крахмала, ферментативной активности зерна, пентозанам, особенно водорастворимой фракции, влияющей на структурно-механические свойства теста, а именно на вязкостные и реологические показатели. При тестоведении водорастворимые пентозаны связывают воду, набухают, взаимодействуют с водо- и солерастворимыми белками ржи, увеличивая тем самым водопоглощительную способность муки и образуя очень вязкие коллоидные растворы [3, 4].

На состояние крахмала ржаной муки оказывает влияние высокая амилолитическая активность зерна, которая способствует большей «атакуемости» крахмальных зерен ферментами и быстрому расщеплению крахмала на декстрины, которые снижают качество мучных изделий, придавая липкость мякишу. Пентозаны, выполняющие роль клейковинного каркаса, при низкой ферментативной активности зерна способствуют повышению вязкости при тестообразовании, улучшению формоустойчивости теста, уменьшению влажности мякиша, а также заминаемости и липкости [5, 6]. Такие показатели как крупность зерна, доля водорастворимых пентозанов и хлебопекарные качества ржаной муки тесно взаимосвязаны – чем меньше масса 1000 зерен, тем больше содержание водорастворимых пентозанов в зерне и выше хлебопекарные достоинства [7].

Пентозаны, с одной стороны, играют положительную роль в хлебопечении, с другой – отрицательную в кормопроизводстве: высоковязкие пентозаны нарушают процессы пищеварения и усвоения питательных веществ в организме животных. Кроме того, их высокое содержание нежелательно при производстве этилового спирта, сахара, крахмала [8, 9, 10].

Цель исследований – оценка влияния параметров углеводно-амилазного комплекса и содержания белка в зерне озимой ржи на его хлебопекарные свойства для использования наиболее информативных показателей в селекции культуры на хлебопечение в условиях Среднего Поволжья.

Методика. Работу проводили в 2018–2022 гг. в Самарском научно-исследовательском институте сельского хозяйства им. Н. М. Тулайкова (Самарская обл.). В качестве экспериментального материала были взяты образцы зерна 4 сортов (Саратовская 7, Безенчукская 87, Безен-

чукская 110, Антарес) и 3 перспективных линий (ГК-80, ГКНП-3, ГКНП-4) озимой ржи. Стандартом служил сорт Саратовская 7. Опыты закладывали на полях севооборота лаборатории селекции серых хлебов в питомниках конкурсного испытания. Предшественник – чистый пар, площадь учетной делянки – 20 м², повторность – четырехкратная, размещение – систематическое, агротехника общепринятая для зоны [11].

Почва опытного участка – чернозем обыкновенный, среднемощный, среднесуглинистый. Агробиохимические показатели пахотного слоя почвы: содержание гумуса (по методу Тюрина в модификации ЦИНАО) – 4,2...4,5 %, легкогидролизуемого азота (по Тюрину и Кононовой) – 4,6...4,9 мг/100 г почвы, подвижного фосфора и калия (по Чирикову) – соответственно 22,8...25,0 мг/100 г и 18,7...20,0 мг/100 г почвы, рН солевой вытяжки – 6,5.

В 2018 и 2019 гг. условия осеннего периода были неблагоприятными для роста и развития озимой ржи. Вегетация проходила при повышенном температурном режиме и недостатке влаги (в 2018 г. температура воздуха была на 1,0...5,0 °С выше среднееголетней, осадков выпало 37...42 % от нормы; в 2019 г. – температура на 2,6...4,6 °С выше среднееголетней, сумма осадков на 13,7...15,5 мм меньше нормы). Условия перезимовки были благоприятными, в летний период наблюдали жаркую погоду: в 2018 г. – суховеи в течение 3 дней, в 2019 г. – атмосферная засуха в июне, высокая температура 37,7 °С в июле. В 2020 и 2021 гг. осенний период и условия перезимовки в целом были удовлетворительными, но вегетация в 2020 г. сопровождалась значительными колебаниями температурного режима: от 8 °С ниже среднееголетней до суховеев в течение 4...6 дней в период налива и созревания зерна. В 2021 г. недостаток осадков в летний период и повышенный температурный режим (атмосферная засуха в июле и низкий гидротермический коэффициент 0,39) способствовали снижению продуктивности зерна. Вегетация в 2022 г. проходила при благоприятных условиях: достаточное количество осадков (135...176 % от нормы) и пониженный температурный режим (на 0,4...4,9 °С ниже среднееголетних значений) способствовали росту и развитию растений, но наблюдали интенсивное полегание.

Оценку качества зерна проводили в соответствии с методиками национальных стандартов Российской Федерации и методов ИСО: содержание белка в зерне – по ГОСТ 10846-91; вязкость водно-мучной суспензии (высота амилограммы, время клейстеризации, температура клейстеризации) – ГОСТ ISO 7973-2013 на амилографе Брабендера; «число падения» – по Хагбергу-Пертену (ГОСТ 30498-97); содержание пентозанов в зерне – орцинол-хлоридным методом в модификации Hashimoto S. [12]; массу 1000 зёрен – по ГОСТ 10842-76. Пробные лабораторные выпечки осуществляли безопар-

Табл. 1. Биохимические и технологические показатели качества зерна сортов озимой ржи (среднее за 2018–2022 гг.)

Параметр	Саратовская 7	Безенчукская 87	Безенчукская 110	Антарес	ГК-80	ГКНП-3	ГКНП-4	НСР ₀₅	CVF*
Содержание, %:									
белка	11,7	12,0	12,6	12,0	12,2	12,8	12,8	0,8	7,5
водорастворимых пентозанов	2,46	2,51	2,96	2,80	2,92	2,74	3,00	0,21	6,9
Масса 1000 зерен, г	31,4	33,4	33,2	31,7	32,5	29,6	30,3	1,6	10,9
Высота амилограммы, е.а.	462	478	494	566	570	424	510	29	28,9
Время клейстеризации, мин	17,7	18,6	19,8	21,6	22,9	21,0	21,0	2,3	3,9
Температура клейстеризации, °С	51,7	53,0	54,7	57,3	59,3	56,5	56,8	-	5,1
Число падения, с	188	201	241	251	244	198	255	39	30,3
Объемный выход хлеба, см ³	457	492	472	500	504	482	495	17	9,2
Общая хлебопекарная оценка, балл	4,1	4,2	4,0	4,1	4,3	4,0	4,2	-	2,5

*коэффициент вариации.

ным методом по методике государственного сортоиспытания. Статистическую обработку экспериментальных данных проводили с использованием дисперсионного и корреляционного анализа по Б. А. Доспехову [13].

Результаты и обсуждение. Программы селекционных исследований, направленные на создание сортов озимой ржи с улучшенными хлебопекарными свойствами, предусматривают изучение большого комплекса биохимических, технологических и хлебопекарных показателей, величины которых зависят от генотипа, погодных условий, зоны выращивания [14]. В наших экспериментах содержание белка, водорастворимых пентозанов, масса 1000 зерен, время клейстеризации, температура клейстеризации, объем хлеба и хлебопекарная оценка демонстрировали слабую изменчивость под влиянием фенотипических факторов $C_{vf} = 2,5...10,9\%$ (табл. 1). Параметры, отвечающие за стабильность углеводно-амилазного комплекса, а именно «число падения» и вязкость водно-мучной суспензии, под воздействием аналогичных факторов варьировали более значительно $C_{vf} = 30,3$ и $28,9\%$ соответственно. Сорты озимой ржи с высокой изменчивостью показателей качества в различных условиях произрастания менее экологически стабильны и пластичны, поэтому требуются новые подходы к ведению селекции по этим признакам.

Известно, что хорошо растворимые и набухающие в воде компоненты (белки, крахмал, пентозаны) оказывают основное влияние на улучшение хлебопекарных свойств озимой ржи. По многолетним данным содержание белка в зерне изучаемых сортов озимой ржи в зависимости от сорта и внешних условий варьировало от $10,1\%$ до $14,5\%$ [15], а за 2018–2022 гг. – от $11,7\%$ до $12,8\%$ (см. табл. 1). Максимальная величина этого показателя в среднем за время проведения исследований отмечена в зерне линий ГКНП-3 и ГКНП-4 – $12,8\%$, у которых белковость зерна превышала средние значения по выборке независимо от метеоусловий. Наибольшее содержание белка в зерне озимой ржи зафиксировано в 2018 г. (Безенчукская 110– $14,5\%$)

и 2019 г. (Безенчукская 110 и линия ГК-80– $13,9\%$). Этому способствовали погодные условия вегетационных периодов, которые вызвали сокращение продолжительности фаз налива и созревания зерна на $6...7$ дней, по сравнению со среднеголетними значениями.

Большая часть ржаных белков водорастворима. В условиях обычного тестоведения они не образуют клейковину, а слизи мешают слипанию клейковинных белков в единый комплекс [1]. При этом белки интенсивно набухают и пептизируются, что в сочетании с их высокой гидратацией и образованием вязких каллоидов (гидратация белков ржи, выше, чем у пшеничных и ячменных в $2...3$ раза) способствует формированию прочного упругого каркаса теста и улучшению хлебопекарных качеств. Содержание белка положительно достоверно коррелировало с объемным выходом хлеба ($r = 0,80...0,75$ при $p < 0,05$) только в 2018 и 2019 гг., когда была отмечена и положительная связь ($r = 0,88$ при $p < 0,01$; $r = 0,79$ при $p < 0,05$) между объемным выходом хлеба и хлебопекарной оценкой (табл. 2). Отрицательную корреляционную зависимость между содержанием белка и высотой амилограммы наблюдали в 2019 г. – $r = -0,80$ (при $p < 0,05$), 2020 г. – $r = -0,80$ (при $p < 0,05$), 2021 г. – $r = -0,82$ (при $p < 0,05$) и 2022 г. – $r = -0,78$ (при $p < 0,01$). Кроме того, в 2019, 2020 и 2022 гг. отмечена отрицательная связь между содержанием белка и «числом падения» ($r = -0,84$; $r = -0,80$; $r = -0,67$ соответственно при $p < 0,05$).

При оценке хлебопекарных достоинств ржи основная роль отводится углеводно-амилазному комплексу: состоянию крахмала, степени поврежденности крахмальных зерен, амилолитической активности зерна, в совокупности все эти факторы оказывают значимое влияние на реологические свойства ржаного теста [4, 6]. Результаты наших исследований свидетельствуют о высоком уровне устойчивости зерна к прорастанию: в среднем величина показателя число падения составляла $188...255$ с, максимальная вязкость на амилографе (высота амилограммы) – $424...570$ е.а., что свидетельствует о низкой ферментативной активности. Наибольшие величины этих показателей отмечены у сорта Антарес, линий

Табл. 2. Значимые коэффициенты корреляции между биохимическими и технологическими показателями качества зерна озимой ржи

Показатель качества	Содержание, %		Масса 1000 зерен, г	Высота амилограммы, е.а.	Клейстеризация		Число падения, с	Объемный выход хлеба, см ³	Общая хлебопекарная оценка, балл
	белка	водорастворимых пентозанов			время, мин	температура, °С			
2018 г.									
Масса 1000 зерен, г	-	-0,86*	-	-	-	-	-	-	-
Температура клейстеризации, °С	-	-	-	-	-	0,90**	-	-	-
Объемный выход хлеба, см ³	0,80*	-	-0,83*	-	-	-	0,68*	-	0,88**
2019 г.									
Высота амилограммы, е.а.	-0,80*	-	-	-	-	-	0,95**	-	-
Число падения, с	-0,84*	0,80*	-	-	-	0,80**	-	-	-
Температура клейстеризации, °С	-	-	0,75**	-	0,95**	-	-	-	-
Объемный выход хлеба, см ³	0,75*	0,72*	-	-	-	-	-	-	0,79*
2020 г.									
Содержание белка, %	-	-	-0,65*	-	-	-	-	-	-
Высота амилограммы, е.а.	-0,80*	-	-	-	-	-	-	0,75*	0,72*
Число падения, с	-0,80*	0,78*	-	0,89**	-	0,87*	-	-	-
Температура клейстеризации, °С	-	-	-	-	0,95**	-	-	-	-
Объемный выход хлеба, см ³	-	-	-	0,86*	-	-	0,65*	-	-
2021 г.									
Масса 1000 зерен	-	-0,79*	-	-	-	-	-	-	-
Высота амилограммы, е.а.	-0,82*	-	-	-	-	0,92*	0,75*	-	0,62*
Температура клейстеризации, °С	-	-	-	-	0,90**	-	-	-	-
Объемный выход хлеба, см ³	-	-	-	0,82*	-	-	0,76*	-	-
2022 г.									
Высота амилограммы, е.а.	-0,78**	0,76*	-	-	-	0,79*	-	-	-
Время клейстеризации, мин	-	-	-	0,86*	-	-	-	-	-
Число падения, с	-0,67*	0,70*	-	0,92**	0,96**	0,95**	-	-	-

*корреляция значима на уровне $p < 0,05$; ** – $p < 0,01$.

ГК-80 и ГКНП-4, у которых число падения было выше, чем у стандарта Саратовская 7, на 56...67 с, высоте амилограммы – на 48...108 е.ам.

Летний период вегетации в 2020 и 2021 гг. был неблагоприятным для роста и развития культуры, что отразилось на ее зерновой продуктивности. Но в эти годы изучаемые сорта сформировали зерно с максимально высокими в опыте показателями амилографической вязкости (590...870 е.ам.) и числа падения (252...360 с), что можно объяснить очень низкой амилолитической активностью зерна, хлебопекарная оценка подтвердила такие результаты (мякиш хлеба сухой и растрескивающийся). Муку сортов озимой ржи с крепким крахмалом (с вязкостью более 650 е.ам. и числом падения выше 300 с) необходимо использовать в смеси со слабой мукой в качестве улучшителя, чтобы сохранить образовавшийся остов хлеба и одновременно обеспечить растяжение теста под действием пузырьков газа.

Для хлебопекарных свойств ржи характерна определенная специфичность, а именно структура ржаного хлеба при выпечке поддерживается вязкостью большого количества растворенных слизистых веществ. При хлебопечении чрезвычайно важны вязкостные свойства ржаного теста, но его реологические характеристики должны находиться в оптимальных пределах: амилографическая вязкость – 350...650 е.ам., число падения – более 200 с (рожь 1 класса, группа А) [16]. В зерне урожая 2019, 2020 и 2022 гг. выявлена тесная положительная корреляционная зависимость между признаками высота аммилограммы и число падения ($r = 0,89...0,95$ при $p < 0,01$). В 2020 и 2021 гг. отмечена положительная корреляция между высотой амилограммы и объемным выходом хлеба ($r = 0,82...0,86$ при $p < 0,05$), числом падения и объемным выходом хлеба ($r = 0,65...0,76$ при $p < 0,05$).

В технологии приготовления ржаного теста особое положение занимают водорастворимые пентозаны, которые при относительно низком содержании обеспечивают образование высоковязких водных растворов, влияющих на структурно-механические и реологические показатели теста [4, 8]. В среднем за 2018–2022 гг. их содержание в зерне изучаемых образцов ржи варьировало в пределах от 2,46 до 3,00%. Наибольшие величины этого показателя отмечали у сорта Безенчукская 110 (2,96%) и линии ГКНП-4 (3,00%). За годы исследований самыми высокими они были в 2019 г. – 2,70...3,55% (больше, чем в другие годы, на 0,25...0,93%), при этом максимальное содержание водорастворимых пентозанов наблюдали так же у сорта Безенчукская 110 и линии ГКНП-4 – 3,30...3,55%.

По результатам пробных лабораторных выпечек наибольший объемный выход хлеба изучаемых сортов озимой ржи отмечали в 2019 г. – 520...655 см³, что на 80...185 см³ выше, чем в другие годы, и только в этом году установлена достоверная положительная связь между содержанием водорастворимых пентозанов и объемным выходом хлеба ($r = 0,72$ при $p < 0,05$). Можно предположить, что эти признаки коррелируют положительно только в те годы, когда содержание водорастворимых пентозанов в зерне выше средних значений. Кроме того, содержание водорастворимых пентозанов в 2019, 2020 и 2022 гг. положительно коррелировал с числом падения, которое так же характеризует хлебопекарные достоинства озимой ржи ($r = 0,70...0,80$ при $p < 0,05$).

Между содержанием водорастворимых пентозанов и массой 1000 зерен существует достоверная обратная корреляция [7]. Результаты наших исследований свидетельствуют, что в отдельные годы между величинами

этих показателей существовала тесная отрицательная зависимость (в 2018 г. $r = -0,86$ при $p < 0,05$; в 2021 г. $r = -0,79$ при $p < 0,05$), в другие такая связь отсутствовала. Учитывая коэффициенты корреляции, в нашем случае, невозможно объяснить повышение массы водорастворимых пентозанов только уменьшением размера зерна, возможно, существуют другие факторы, которые влияют на такую зависимость, что требует полного анализа и оценки состояния всех параметров качества.

Низкая активность альфа-амилазы в зерне положительно влияла на реологические свойства теста и процесс тестоведения. Результаты анализа данных по качеству хлеба свидетельствуют, что наибольшим объемным выходом хлеба отличались сорт Антарес, линии ГК-80 и ГКНП-4 – 495...504 см³ (на 19 см³ выше среднegrupпового величины). При этом высота амилограммы в образцах муки составляла 510...570 е.ам., число падения – 244...251 с. Форма выпеченных хлебцев была полуовальной, поверхность – гладкой, мякиш характеризовался сравнительно мелкой равномерной пористостью, не заминался, вкус – кисловатый, соответствующий ржаному хлебу. Наименьший объем хлеба 457 см³ отмечен у сорта озимой ржи Саратовская 7 (стандарт), что на 38...47 см³ меньше, чем у остальных исследуемых образцов.

При оценке хлебопекарных достоинств сортов озимой ржи необходимо учитывать такой фактор, как крупность и целостность крахмальных зерен [16], поскольку мелкие и поврежденные зерна легче поддаются действию амилолитических ферментов, это ведет к снижению вязкости и увеличению содержания сахаров при приготовлении теста, что в свою очередь уменьшает объем хлеба и качество мякиша. В 2018 и в 2019 гг. отмечена положительная связь между общей хлебопекарной оценкой и объемным выходом хлеба ($r = 0,79$ при $p < 0,05$; $r = 0,88$ при $p < 0,01$ соответственно). В 2020 и 2021 гг. хлебопекарная оценка достоверно положительно коррелировала с амилографической вязкостью ($r = 0,62...0,72$ при $p < 0,05$).

Важными критериями активности амилаз при оценке состояния крахмала считают температуру и время клейстеризации крахмала [17, 18]. За годы исследований наиболее высокие величины этих показателей наблюдали у сорта Антарес, линий ГК-80 и ГКНП-4. Максимальную в исследуемой выборке температуру (59,3 °C) и время клейстеризации (22,9 мин) отмечали у линии ГК-80, что выше, чем у других сортов, соответственно на 2,0...7,6 °C и 1,9...5,2 мин. Высокая температура клейстеризации [1] необходима для сортов муки, содержащих крахмальные зерна из наружных слоев эндосперма, которые более устойчивы к «амилазной атаке».

Во все годы исследования установлена высокозначимая положительная корреляция между временем и температурой клейстеризации ($r = 0,90...0,96$ при $p < 0,01$). Кроме того, в 2021 и 2022 гг. выявлены значимые положительные связи между температурой клейстеризации и высотой амилограммы ($r = 0,92$; $r = 0,79$ при $p < 0,01$), а в 2019, 2020 и 2022 гг. – с числом падения ($r = 0,80$, $r = 0,87$, $r = 0,95$ при $p < 0,05$).

Выводы. Результаты биохимических и технологических исследований показали высокий уровень устойчивости зерна изученных сортов озимой ржи к прорастанию. Величины основных параметров, определяющих состояние крахмала, которое влияет на реологические свойства ржаного теста и хлебопекарную оценку, находились на следующем уровне: число падения – 188...255 с, максимальная вязкость на амилографе – 424...570 е.ам. Наилучшие величины этих

показателей и качество хлеба (наибольший объёмный выход 495...504 см³) отмечены у сорта Антарес, линий ГК-80 и ГКНП-4. В 2019, 2020 и в 2022 гг. установлена тесная положительная корреляция между признаками высота аммилограммы и число падения ($r = 0,89...0,95$ при $p < 0,01$). В 2020 и 2021 гг. отмечена тесная положительная связь между высотой аммилограммы и объёмным выходом хлеба ($r = 0,82...0,86$ при $p < 0,05$), а также числом падения и объёмным выходом хлеба ($r = 0,65...0,76$ при $p < 0,05$).

Содержание водорастворимых пентозанов в среднем за годы исследований варьировало от 2,46 до 3,00%. Наибольшие величины этого показателя (2,70...3,55%) наблюдали в 2019 г., когда был отмечен и самый высокий объём хлеба (520...655 см³). Одновременно только в этом году установлена достоверная положительная связь между содержанием водорастворимых пентозанов и объёмным выходом хлеба ($r = 0,72$ при $p < 0,05$). В 2019, 2020 и 2022 гг. отмечена значимая положительная взаимосвязь между содержанием пентозанов и числом падения, которое так же характеризует хлебопекарные достоинства озимой ржи ($r = 0,70...0,80$ при $p < 0,05$).

Содержание белка положительно значимо коррелировало с объёмным выходом хлеба только в 2018 и 2019 гг. – $r = 0,80$ и $0,75$ соответственно. Во все годы исследования установлена отрицательная корреляционная зависимость между содержанием белка и высотой аммилограммы ($r = -0,82...-0,78$), а в 2019, 2020 и 2022 гг. и с числом падения ($r = -0,84$; $-0,80$; и $-0,67$ соответственно).

При отборе сортов озимой ржи для использования зерна на хлебопекарные цели необходимо вести сопряжённую селекцию по высоте аммилограммы и числу падения при стабилизации белка на приемлемом уровне 12,0...12,8%.

ФИНАНСИРОВАНИЕ РАБОТЫ.

Данная работа финансировалась за счет средств бюджета института (учреждения, организации). Никаких дополнительных грантов на проведение или руководство данным конкретным исследованием получено не было.

СОБЛЮДЕНИЕ ЭТИЧЕСКИХ СТАНДАРТОВ.

В данной работе отсутствуют исследования человека или животных.

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ.

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

Литература.

1. Бушук В., Кэмпбелл У. П., Древис Э. М. Рожь: производство, химия, технология. М.: Колос, 1980. 247с.
2. Методы исследования качества цельносмолотой муки из зерна ржи / М. Л. Пономарева, С. Н. Пономарев, Г. С. Маннапова и др. // Российская сельскохозяйственная наука. 2022. № 4. С. 13–21.
3. Henry R. J. A comparison of the non-starch carbohydrates in cereal grains // J. Sci. Food and Agris. 1985. Vol. 36. No. 12. P. 1243–1253.

4. Многопараметрическая оценка качества зерна популяций озимой ржи с различной вязкостью водного экстракта / А. А. Гончаренко, В. А. Черных, А. В. Макаров и др. // Российская сельскохозяйственная наука. 2022. № 1. С. 31–37.
5. Гончаренко А. А. Новые направления в селекции озимой ржи на целевое использование // Зернобобовые и крупяные культуры. 2016. № 2 (18). С. 25–31.
6. Влияние водорастворимых пентозанов на хлебопекарные свойства озимой ржи / Е. Н. Шаболкина, А. А. Бишарев, Н. В. Анисимкина и др. // Зерновое хозяйство России. 2019. № 1 (61). С. 49–51.
7. Исмагилов Р. Р., Гайсина Л. Ф. Содержание водорастворимых пентозанов в зерне ржи разной фракции // Пиво и напитки. 2015. № 3. С. 44–46.
8. Генотипическая изменчивость содержания пентозанов в зерне озимой ржи / М. Л. Пономарева, С. Н. Пономарев, М. Ш. Тагиров и др. // Сельскохозяйственная биология. 2017. Т. 52. № 5. С. 1041–1048.
9. Перспективы использования низкопентозановой ржи для хлебопекарных целей / В. Д. Кобылянский, Л. И. Кузнецова, О. В. Солодوخина и др. // Российская сельскохозяйственная наука. 2018. № 6. С. 3–6.
10. Исмагилов Р. Р., Алимгафаров Р. Р., Савина А. А. Применение ферментных препаратов – эффективный прием снижения содержания пентозанов в зерне озимой ржи // Достижения науки и техники АПК. 2023. Т. 37. № 1. С. 46–50.
11. Горянин О. И. Возделывание полевых культур в Среднем Заволжье. Самара: СамНЦ РАН, 2018. 345 с.
12. Hashimoto S., Shogren M. D., Pomeranz Y. Cereal pentosans Their ensimatin and significance. I. Pentosans in wheat and milled wheat products // Cereal Chem. 1987. Vol. 64. P. 30.
13. Доспехов Б. А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований). М.: Альянс, 2014. 351с.
14. Урбан Э. П. Влияние погодных условий на формирование хлебопекарных свойств озимой ржи в связи селекцией на целевое использование // Земледелие и защита растений. 2015. № 5 (102). С. 8–11.
15. Перспективы селекции озимой ржи на хлебопекарные цели / Е. Н. Шаболкина, А. А. Бишарев, Н. В. Анисимкина и др. // Зерновое хозяйство России. 2018. № 6. С. 59–63.
16. Беркутова Н. С. Методы оценки и формирования зерна. М.: Росагропромиздат, 1991. 206 с.
17. 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.
18. Пономарева М. Л., Пономарев С. Н. Оптимизация параметров качества зерна для селекции озимой ржи // Вавиловский журнал генетики и селекции. 2019. Т. 23. № 3. С. 320–327.

Поступила в редакцию 27.02.2024

После доработки 12.03.2024

Принята к публикации 02.04.2024