

МНОГОПАРАМЕТРИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА КАЧЕСТВА ЗЕРНА ПОПУЛЯЦИЙ ОЗИМОЙ РЖИ С РАЗЛИЧНОЙ ВЯЗКОСТЬЮ ВОДНОГО ЭКСТРАКТА

А.А.Гончаренко¹, академик РАН, В.Я.Черных², доктор технических наук, А.В.Макаров¹, доктор сельскохозяйственных наук, Н.Ю.Быкова², кандидат технических наук, Е.В.Карпушина², кандидат технических наук, Н.А. Яшина¹

¹Федеральный исследовательский центр «Немчиновка»,
143026, Московская обл., г.п. Одинцово, р.п. Новоивановское, ул. Агрохимиков, 6
E-mail: goncharenko05@mail.ru

²Научно-исследовательский институт хлебопекарной промышленности,
107553, Москва, ул. Большая Черкизовская, 26А.
E-mail: polybiotest@rambler.ru

Представлены результаты многопараметрической (по 37 показателям) оценки физико-химических характеристик двух популяций озимой ржи, контрастно различающихся по вязкости водного экстракта (ВВЭ) зернового шрота. Материалом для сравнения послужили высоковязкая популяция ГК-494-ВВ ($\eta=12,0$ сПуаз), полученная в результате 10-кратного отбора на высокую ВВЭ, и относительно низковязкий сорт Московская 15 ($\eta=4,1$ сПуаз), который использовали как стандарт. Высокая ВВЭ трудно сочетается с высокой натурой зерна, крупнозерностью и крахмалистостью, но положительно коррелирует с высокобелковостью и твердозерностью. По качеству муки сравниваемые популяции различались сильнее, чем по зерну. Популяция ГК-494-ВВ отличалась более высоким числом падения (164,7 % от стандарта), крупными размерами частиц муки (149,7 %), высоким пиком вязкости крахмального клейстера (146,2 %), высокой температурой клейстеризации крахмала (119,7 %) и более сильной водопоглощительной способностью (123,1 %). Тесто из зерна высоковязкой популяции отличалось значительным превосходством по формоудерживающей (200 % от стандарта), газообразующей (107,9 %) и газоудерживающей (107,4 %) способности. Формовой хлеб из такого теста имел лучшие структурно-механические свойства мякиша. Характерная особенность высоковязкой ржи – относительно низкий объем формового хлеба (93,9 % от стандарта), низкий удельный объем (93,4 %) и пористость мякиша (91,8 %). Хлеба из высоковязкой муки характеризуется относительно низким упеком (8,6 % против 12,2 %). В результате селекции максимальная вязкость амилпектиновой фракции в сравнении со стандартом повысилась на 4,9 %, амилозной фракции – на 102,6 %, то есть в 20 раз больше. Целевой отбор на высокую ВВЭ коррелятивно повлиял на многие признаки качества зерна озимой ржи. Особенность в том, что эти изменения достигались не только в результате увеличения содержания водорастворимых пентозанов в зерне, но и благодаря влиянию водорастворимой амилозы.

MULTIPLE PARAMETER ASSESSMENT OF QUALITY OF GRAIN OF POPULATIONS OF WINTER RYE WITH VARIOUS VISCOSITY OF WATER EXTRACT

Goncharenko A. A.¹, Chernykh V. Ya²., Makarov A. V.¹, Bykova N. Y.², Karpushina E. V.², Yashina N.A.¹

¹Federal research center «Nemchinovka»,
143026, Moskovskaya obl., g.p. Odintsovo, r.p. Novoivanovskoe, ul. Agrokhimikov, 6
E-mail: goncharenko05@mail.ru

²Scientific research institute of the baking industry
107553, Moskva, ul. Bol'shaya Cherkizovskaya, 26A.
E-mail: polybiotest@rambler.ru

Results multiple parameter (on 37 indicators) estimates of physical and chemical, technological, rheological and baking properties of two populations of winter rye which are contrastly differing on the viscosity of water extract (VWE) of grain meal are presented. As initial material for comparison the high-viscosity population of GK-494-HV ($\eta=12,0$ sPoise) received as a result of 10-fold selection on high VWE, and relatively low-viscous variety Moscow 15 ($\eta=4,1$ sPoise) which was used as the standard. It is established that high VWE is difficult combined with high nature of grain, a large grain and a high contents of starch, but positively correlates with a high contents of protein and hardness of grain. On quality of flour the compared populations differed stronger, than on grain. Population of GK-494-HV differed in higher number of falling (164,7 % of the standard), the large size of particles of flour (149,7 %), the high peak of viscosity of starched paste (146,2 %), high temperature of a kleysterization of starch (119,7 %) and stronger water absorbing ability (123,1 %). Significant superiority of high-viscosity population on a stable form of dough (200 % of the standard), and also on gas-forming (107,9 %) and gas-retaining (107,4 %) abilities is revealed. Square loaf from such dough had the best structural and mechanical properties of a crumb. Characteristic of high-viscosity rye is rather low volume of square loaf (93,9 %), low specific volume (93,4 %) and porosity of a crumb (91,8 %). Rather low is stated bread made from high-viscosity flour (8,6 % vs 12,2 %) that favourably distinguishes population of GK-494-HV from a low-viscous variety Moscow 15. Qualitative distinctions of the main components of starch - amylose and amylopectin are revealed. It is established that as a result of selection the maximum viscosity of amilopektinovy fraction in comparison with the standard increased by 4,9 %, and viscosity fraction from amylose - by 102,6 %, i.e. in 20 times more. The conclusion is made that purposeful selection on high VWE correlatively affected many traits of quality of grain of winter rye. Feature is that these changes were reached not only due to increase in maintenance of water-soluble pentosan in grain, but also due to influence of water-soluble amylose.

Ключевые слова: озимая рожь (*Secale cereale* L), популяция, сорт, вязкость водного экстракта, качество зерна, мука, тесто, хлеб, многопараметрическая оценка.

Key words: winter rye (*Secale cereale* L), population, variety, viscosity of water extract, quality of grain, flour, dough, bread, multiple parameter assessment.

Озимая рожь отличается от пшеницы относительно высоким содержанием в зерне некрахмальных полисахаридов (пентозанов), которые играют важную роль в технологии

выпечки ржаного хлеба [1]. Эти полисахариды служат основными веществами, связывающими воду при замесе теста, увеличивают его вязкость и улучшают физические

свойства [2]. Установлено, что их суммарное содержание в зерне ржи варьирует от 7,0 до 13,0 % [3]. По отношению к воде они подразделяются на водорастворимые и водонерастворимые. Водонерастворимые пентозаны (ВНП) большей частью содержатся в оболочках клеток, водорастворимые (ВРП) – внутри их содержимого. Считается, что зерно ржи с высоким содержанием суммарных пентозанов более пригодно для производства хлеба, так как они, адсорбируясь на поверхности крахмала и белков ржаной муки, уменьшают скорость процесса набухания, а также способствуют снижению их атакующести ферментами [4, 5]. Особую роль в хлебопечении играют ВРП, на долю которых в структуре суммарных пентозанов приходится 20...38% [6]. Их ценное свойство – способность давать высоковязкие водные растворы при относительно низком содержании, что очень важно при приготовлении ржаного теста [7, 8].

Отмеченные особенности позволяют объяснить, почему практически все возделываемые сорта ржи относятся к категории хлебопекарных и мало соответствуют требованиям, предъявляемым к кормовому зерну. Причина в том, что задачи селекции ржи на хлебопекарную и зернофуражную пригодность не совпадают, их следует решать по разным селекционным программам [9]. Зернофуражная рожь в отличие от хлебопекарной должна иметь высокое содержание белка и относительно низкое содержание пентозанов, особенно водорастворимой их фракции [10]. Ранее селекции ржи в этом направлении не проводили, но в последние годы проблема пентозанов у ржи стала больше привлекать внимание селекционеров. Было установлено [11], что содержание водорастворимых пентозанов в зерне ржи находится в прямой зависимости от вязкости водного экстракта (ВВЭ) зернового шрота ($r=0,97$). Это послужило основанием для использования показателя ВВЭ в качестве косвенного критерия при определении содержания пентозанов в зерне ржи.

Выяснилось также, что пентозаны неоднородны по своей молекулярной массе, а потому могут иметь различную ВВЭ при равной их концентрации [12]. Сравнение двух контрастных по молекулярной массе групп пентозанов показало [13], что биополимеры с высокой плотностью замещения остатков сиалозы теснее коррелируют с ВВЭ, чем пентозаны с меньшей плотностью такого замещения. Это указывает на высокую информационную ценность признака ВВЭ в отношении биохимической структуры пентозанов. Именно количественное содержание и внутренняя структура ВРП в определенной степени определяют вектор использования зерна ржи. С одной стороны, при повышении содержания они уменьшают питательную ценность кормового зерна, с другой – наоборот, улучшают хлебопекарные свойства ржаной муки [14]. В селекционном аспекте важно то, что уровень ВВЭ зернового шрота может служить хорошим индикатором целевой пригодности зерна озимой ржи.

В свете изложенного особый интерес представляет сравнение сортов озимой ржи с контрастной ВВЭ. Впервые такие сорта удалось создать в ФИЦ «Немчиновка» в результате длительной селекции озимой ржи на высокую и низкую ВВЭ. Для этого разработали методику оценки селекционного материала по признаку ВВЭ с использованием ротационного вискозиметра и провели 10 циклов дивергентного отбора по ВВЭ на базе сортов ржи Альфа и Московская 12 [15]. В результате были получены уникальные популяции ржи, отличающиеся высокой контрастностью по признаку ВВЭ. Высоковязкие популяции (обозначенные как ВВ) превышали исходную форму по ВВЭ в 3,3... 6,0 раз, а низковязкие (НВ) уступали ей по этому признаку в 2,6... 3,5 раза. Их предварительное изучение показало, что высоковязкие популяции характеризуются более высокой урожайностью и лучшим качеством зерна, чем низковязкие. Наиболее вы-

сокий коррелятивный эффект достигался по натуре зерна, числу падения, высоте амилограммы, формоустойчивости хлеба, структурно-механическим свойствам мякиша готового изделия. Было сделано заключение, что селекция на высокую ВВЭ позволяет существенно улучшить многие хлебопекарные свойства зерна ржи.

Селекционная оценка дивергентных по вязкости популяций выявила необходимость их более глубокого изучения. Так как высоковязкие популяции содержат много ВРП, а низковязкие – относительно мало, то практически важно знать, как сильно на фоне изменения потенциала ВВЭ будут изменяться различные физико-химические характеристики ржи, в том числе обуславливающие её хлебопекарные свойства. Вопрос о коррелятивной изменчивости различных признаков качества в зерне высокой вязкости в научной литературе пока что остается открытым, поэтому его рассмотрение представляет большой научный и практический интерес. Для более четкой дифференциации исходного селекционного материала необходимо помимо определения содержания ВРП разработать более совершенные методы технологической оценки высокопентозановых сортов ржи.

Цель исследований – многопараметрическая оценка физико-химических характеристик популяций озимой ржи, отличающихся высокой контрастностью по признаку ВВЭ. Ставилась задача расширить число показателей, контролируемых важные грани качества зерна ржи, с тем чтобы более эффективно использовать зерновые ресурсы этой культуры.

Методика. Исходным материалом для изучения послужили высоковязкая популяция ГК-494-ВВ ($\eta=12,0$ сП) и относительно низковязкий сорт Московская 15 ($\eta=4,1$ сП), который использовали в качестве стандарта для сравнения. Сорт Московская 15 включен в Госреестр селекционных достижений РФ и с 2016 г. допущен к использованию по Северо-Западному, Центральному и Волго-Вятскому регионам. Высоковязкая популяция ГК-494-ВВ получена в результате скрещивания двух высоковязких образцов ржи (Мос-12-ВВ и Альфа-ВВ), созданных методом многократного отбора растений с высокой ВВЭ зернового шрота (за 2004–2013 гг. проведено 10 циклов) [16]. Сравнительное испытание популяции ГК-494-ВВ и сорта Московская 15 на качество зерна проводили в 2017 г. на опытном поле ФИЦ «Немчиновка» на делянках 15 м² в четырех повторениях. После уборки от каждой популяции отбирали среднюю пробу зерна массой 15 кг для оценки его физико-технологических и мукомольно-хлебопекарных качеств по различным показателям (табл. 1).

Относительную ВВЭ из цельносмолотой и обдирной муки измеряли в сантипуазах (сП) на ротационном вискозиметре VT5L/R (Германия) по методике А.С. Тимошенко и др. [17].

Принципиальным отличием такого подхода было то, что при оценке реологического поведения клейстеризованной суспензии, кроме числа падения, дополнительно использовали следующие параметры:

показатели твердозерности зерна, отражающие его структурно-механические свойства; их определяли с использованием информационно-измерительной системы (ИИС) на базе прибора «Полиреотест ПРТ-1» с измельчающим устройством [18];

реологические показатели ржаного теста, устанавливаемые на приборе «Faginogaph-E», которые дают возможность получать интегральную оценку состояния всех биополимеров ржаной муки, обуславливающих её хлебопекарные свойства.

Лабораторный помол зерна ржи в обдирную муку проводили на мельнице «Нагема». Продолжительность отлаживания каждой пробы ржи составляла 4 ч, массовая

Табл. 1. Показатели зерна, обдирной муки, теста и хлеба, по которым проводили многопараметрическую оценку двух популяций ржи

Параметр	Марка приборов
Натура зерна, г/л	ПХ-1МЦ
Масса 1000 зерен, г	Contador
Содержание белка, крахмала, %	Spectra Star 2400
Показатели твердозерности:	Полиреотест
количество удельной механической энергии, затраченной на измельчение зерна, кДж/кг	ПРТ-1
индекс твердости зерна, Н·м / % с.в.	
Белизна, ед. приб. РЗ-БПЛ	Блик-РЗ
Влажность муки, %	МА-150
Число падения, с	Амилотест
Максимальная вязкость крахмального клейстера (F_{max}), е.а.	АТ-97(ЧП-ТА)
Температура максимальной вязкости клейстера, °С	
Средний эквивалентный диаметр частиц муки, мкм	Гранулометр ГИУ-1
Время образования гомогенной структуры теста, мин	Farinograph - E
Водопоглощительная способность, %	
Разжижение ржаного теста, е.Ф.	
Количество механической энергии, затраченной на формирование гомогенной структуры теста, кДж/кг	
Эффективная вязкость теста после замеса, Па·с	Структурометр СТ-2
Продолжительность созревания теста и окончательной расстойки тестовых заготовок, с	Rheofermentometre F-3
Газообразующая способность, %	
Газоудерживающая способность, %	
Удельный объем формового хлеба, г/см ³	Прибор ОХЛ-2
Пористость мякиша, %	Пробник Журавлева

доля влаги в зерне перед I драной системой – 14,0%. Оценка технологических свойств ржаной муки включала определение среднего эквивалентного диаметра частиц (прибор «Гранулометр ГИУ-1»), далее измеряли «число падения» (прибор «Амилотест АТ-97(ЧП)») и показатель ее белизны (прибор Блик-РЗ), подтверждающий сорт перерабатываемой муки. Оценка реологического поведения клейстеризованной водно-мучной суспензии проводили по показателям амилограммы и тестограммы на базе прибора «Амилотест АТ-97(ЧП-ТА)» [19]. Определяли параметры, отражающие реологическое поведение ржаного теста при его замесе, то есть характеристики, раскрывающие гелеобразующую способность биополимеров ржаной муки при формировании коагуляционной структуры теста с учетом водопоглощительной способности муки. Для оценки хлебопекарных свойств ржаной муки измеряли эффективную вязкость замешенного теста. Контроль реологического поведения ржаного теста в процессе замеса осуществляли с помощью прибора «Farinograph E» по показателям фаринограммы. При замесе вносили определенное количество воды, которое обеспечивало получение ржаного теста с консистенцией на уровне 300 ± 15 е. Ф.

Интегральную оценку технологических свойств ржаной муки по органолептическим и физико-химическим показателям качества хлеба, изготовленного в результате пробной лабораторной выпечки, осуществляли по методике ФГАНУ НИИХП [19, 20, 21]. Выпечку выполняли при условии опти-

мизации биотехнологических операций созревания теста и окончательной расстойки тестовых заготовок по параметрам реоферментограммы. Тестовые заготовки массой 1200 г каждая выпекали в лабораторной печи при температуре 230 °С. Продолжительность выпечки хлеба составляла 65 мин. Готовые изделия хранили при температуре 20...23 °С. Оценку качества выпеченного хлеба по органолептическим и физико-химическим показателям проводили через 16...18 ч в соответствии с существующими методами. Формоустойчивость подового хлеба измеряли как отношение высоты (Н) к диаметру (D), а качество формового – путем измерения объемного выхода хлеба и сенсорной оценки показателей качества мякиша (цвета, липкости, эластичности). Пористость мякиша определяли в процентах по ГОСТ 5669-96 с использованием пробника Журавлева [19].

Результаты и обсуждение. Сравнимые популяции ржи существенно различаются по многим показателям (табл. 2, рис. 1). Отличительной особенностью высоковязкой популяции ГК-494-BB по зерну, в сравнении с сортом Московская 15 (см. рис. 1, а), служит относительно низкая натура зерна (96,9% от стандарта), масса 1000 зерен (91,5%) и содержание крахмала (92,7%). Положительную экспрессию продемонстрировали только два признака: содержание белка (104,8% относительно стандарта) и твердозерность, которую выражали через показатели удельного количества энергии на измельчение пробы зерна (110,0%) и индекс прочности (112,5%). Результаты анализа свидетельствуют, что различия по перечисленным признакам обусловлены их коррелятивной зависимостью от уровня вязкости водного экстракта, по которой проводили отбор. Аналогичные выводы были сделаны ранее по результатам многократного дивергентного отбора по признаку ВВЭ [15]. В этом сравнении такая взаимосвязь сильнее всего проявилась по массе 1000 зерен, из чего следует, что высокая вязкость водного экстракта трудно сочетается с крупнозерностью. Что касается твердозерности, то она положительно отразилась на других показателях качества.

По качеству муки сравнимые популяции различались еще больше, чем по зерну (см. рис. 1, б.). Прежде всего, следует отметить крупный размер частиц муки из зерна популяции ГК-494-BB (149,7% от стандарта), высокое число падения (164,7%), высокий пик вязкости крахмального клейстера на амилограмме (146,2%), температуру, при которой он достигается (119,7%), а также высокую водопоглощительную способность (ВПС) муки (123,1%). Обращает на себя внимание также сравнительно высокий выход муки (107,7%) и относительно низкий выход отрубей (58,7%). Эти особенности, вероятно, обусловлены различиями структурно-механических свойств зерна сравнимых популяций, в частности по признаку твердозерности. Благодаря этому эндосперм высоковязкой ржи при помолу разрушается преимущественно по границам клеток, из-за чего образуются более крупные частицы муки (в нашем опыте 255,2 мкм против 170,5 мкм), мука получается более зернистой, рассыпчатой и лучше просеивается. Можно предположить, что зерновка высоковязкой ржи содержит более тонкостенные плодовые оболочки, что и определяет пониженный выход отрубей.

Водорастворимые пентозаны ржаной муки, о высоком содержании которых косвенно можно судить по показателю ВВЭ, оказывают существенное влияние на число падения (209 с против 127 с) и процесс клейстеризации крахмала. Эти слизистые вещества, окружая зерна крахмала и набухшие гранулы белка, затрудняют атакуемость крахмала ферментами, замедляя тем самым весь процесс клейстеризации. При этом в результате взаимодействия белковых веществ со слизями значительно повышается исходная вязкость суспензии и увеличивается максимум амилограммы [22].

Табл. 2. Сравнительная оценка качества зерна у популяций ржи с различной вязкостью водного экстракта

Материал	Признак	ГК-494-BB (ВВЭ=12,0 сП)	Московская 15 (ВВЭ=4,1сП)	
Зерно	натура, г/л	718	741	
	масса 1000 зерен, г	32,4	35,4	
	содержание крахмала, %	50,7	54,7	
	содержание белка, %	13,2	12,6	
	количество механической энергии, затраченной на измельчение пробы зерна, кДж/кг	875,4	795,6	
Мука	индекс твердости, Н·м / % с.в	0,63	0,56	
	средний эквивалентный диаметр частиц, мкм	255	170	
	выход муки, %	89,26	82,92	
	выход отрубей, %	9,52	16,23	
	белизна муки, ед. пр. РЗ-БПІ	38,1	41,8	
	число падения, с	209	127	
	максимальная вязкость крахмального клейстера (F_{max}), е.а.	0,76	0,52	
	температура начала клейстеризации крахмала ($t_{н.к.}$), °С	63,5	61,0	
	температура максимальной вязкости крахмального клейстера (t_{max}), °С	73,0	68,5	
	водопоглотительная способность, %	53,3	43,3	
	Тесто	газообразующая способность, см ³	1252	1160
		газоудерживающая способность, см ³	1096	1021
		устойчивость теста, мин.	3,5	4,9
время образования теста, мин.		5,3	4,4	
разжижение теста, е.Ф.		28	21	
расход энергии на формирование структуры теста при замесе, W, кДж/кг		9,8	9,1	
«число качества» по фаринографу QN		110	153	
формоустойчивость (отношение высоты к диаметру подового хлеба)		0,46	0,23	
Хлеб	объем формового хлеба, см ³	1240	1320	
	удельный объем хлеба, см ³ /г	1,14	1,22	
	пористость мякиша, %	59,7	65,0	
	влажность мякиша, %	54,0	54,5	
	усушка, %	9,3	10,0	
	упек, %	8,6	12,2	

Важное свойство высоковязкой муки – высокая водопоглотительная способность (53,3 % против 43,3 %). Обусловлено это высокой гидрофильностью водорастворимых пентозанов, которые увеличивают вязкость ржаного теста, что, несомненно, оказывает большое влияние на его реологические свойства. В конечном итоге вязкость ржаного теста определяет выход и устойчивость теста, а также объем хлеба. При увеличении вязкости теста его выход возрастает благодаря удержанию большего количества воды. В результате оно обладает лучшей стабильностью, но испеченный хлеб получается меньшего объема [23].

Сравниваемые популяции заметно различались также по реологическим характеристикам ржаного теста и показателям его замеса (см. рис. 1, в). Обращает на себя внимание повышенная газообразующая (107,9 %) и газоудерживающая (107,4 %) способность высоковязкого теста. Это обусловлено тем, что в газообразующей способности ржаной муки ведущая роль принадлежит амилолитическим ферментам и крахмалу, а в газоудерживающей – водорастворимым пентозанам. Чем больше в муке водорастворимых пентозанов, повышающих вязкость водного экстракта, тем больше газоудерживающая способность теста. В то же время тесто на основе муки из зерна высоковязкого сорта, характеризуется большей водопоглотительной способностью (123,1 %) и временем образования (120,5 %). При этом оно отличается более высокими величинами показателя разжижения и относительно низкой устойчивостью. Различные оценки по этим свойствам объясняются разным соотношением в муке разрушенных и неразрушенных крахмальных зерен, а также

наличием более крупных частиц в обдирной муке, которые определяют скорость и силу осмотического связывания воды со свободным белком и пентозанами, окружающими отдельные крахмальные зерна.

Определенный интерес представляет сравнение изучаемых популяций по качеству испеченного хлеба (см. рис. 1, г). В первую очередь следует отметить двукратное (200 %) превосходство подового хлеба из зерна высоковязкой популяции ГК-494-BB по формоустойчивости. В принципе этого и следовало ожидать, так как ее мука отличается высокой ВВЭ, из-за чего тесто при расстойке почти «не течет» и лучше сохраняет форму. Причиной такой высокой формоустойчивости служит коррелятивный эффект, обусловленный интенсивной селекцией на высокую ВВЭ. Характерной особенностью высоковязкой ржи считают относительно низкий объем формового хлеба (93,9 %), удельный объем (93,4 %) и пористость мякиша (91,8 %). Из этого следует, что объемный выход хлеба непосредственно зависит от вязкости ржаного теста, которую придают ему водорастворимые пентозаны. При высокой вязкости оно способно удерживать большее количество воды и имеет лучшую формоустойчивость, но испеченный хлеб характеризуется меньшим объемом, более упругим мякишем, меньшей липкостью и пористостью. Кроме того, отмечено, что хлеб из высоковязкой муки медленнее черствеет и дольше сохраняет мягкую консистенцию. Таким образом, уровень ВВЭ – важная компонента ржаного теста, которая определяет его водоудерживающую и газоудерживающую способность, что в конечном счете сильно влияет на качество выходного продукта.

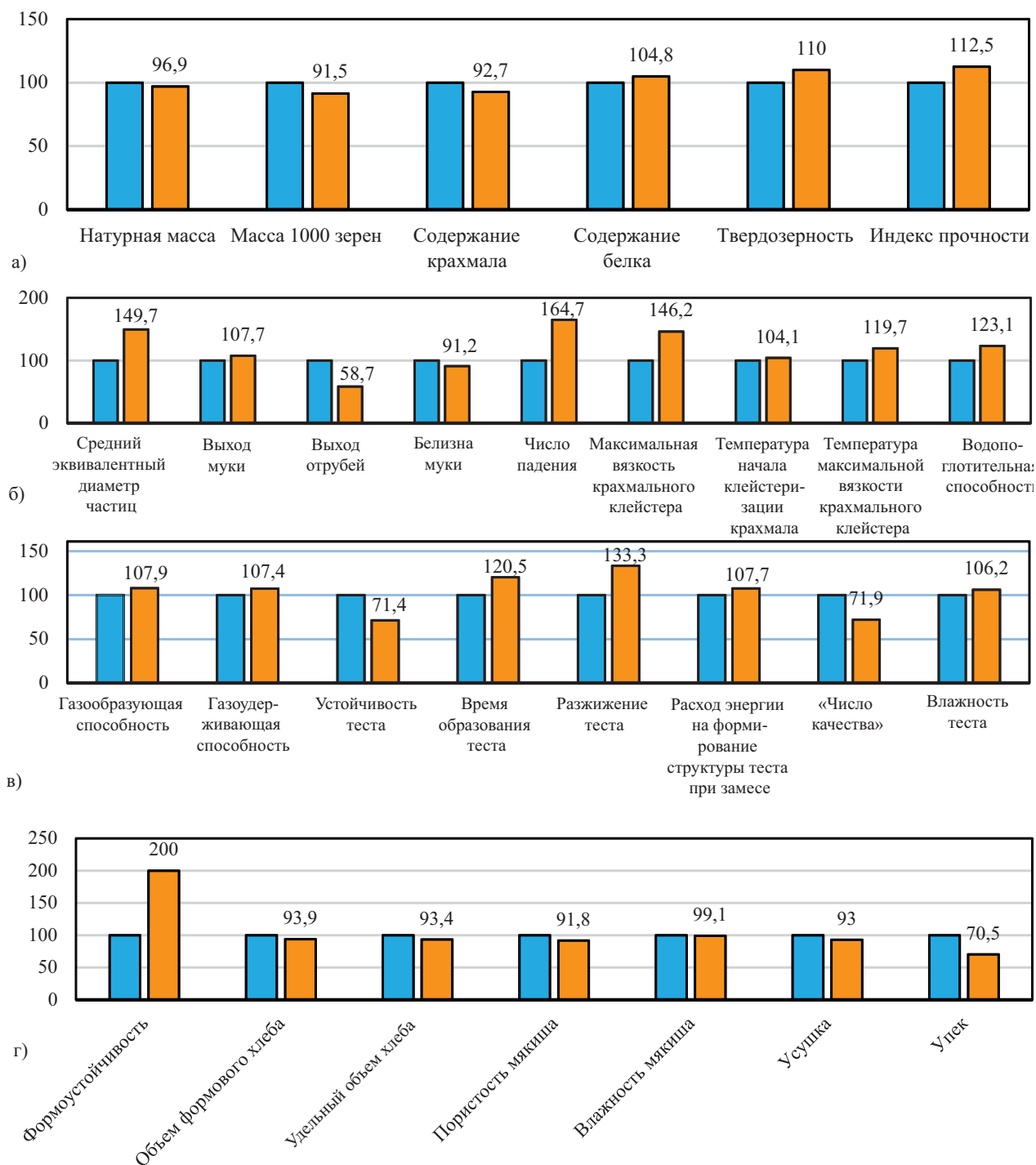


Рис. 1. Оценка признаков качества у высоковязкой популяции ГК-494-ВВ, в сравнении с низковязким сортом Московская 15 (в %, величина признака у Московской 15 = 100 %): а) зерно, б) мука, в) тесто, г) хлеб; ■ – Московская 15, ■ – ГК-494-ВВ.

Большое влияние на экспрессию признаков качества оказывает активность амилолитических ферментов в муке. Если она низкая, то выпекаемый хлеб получается с упругим мякишем и мелкими толстостенными порами, с плоской верхней коркой, что в целом и присуще для изделий из зерна высоковязкой популяции ГК-494-ВВ. Наоборот, формовой хлеб из муки низковязкого сорта Московская 15 хотя и имеет больший объем, но отличается вогнутой верхней коркой, оторванностью мякиша от корки, плохой структурой пористости и

сильно заминающимся, влажным и липким мякишем (рис. 2).

Важная особенность формового хлеба из высоковязкой ржи – относительно низкий упек (70,5 % от стандарта). То есть уменьшение массы тестовой заготовки при выпечке на 29,5 % меньше, чем у стандарта Московская 15. В результате получается, что по мере увеличения ВВЭ зернового шрота возрастает водопоглотительная способность полученной из него муки и выход хлеба из такой муки. Это выгодно отличает



Рис. 2. Поперечный срез формового хлеба из муки популяций: а) ГК-494-ВВ; б) Московская 15.

высоковязкую популяцию ГК-494-ВВ от низковязкого сорта Московская 15.

Как было отмечено ранее, основной вклад в потенциал ВВЭ вносят водорастворимые пентозаны. Что касается роли крахмала, то она до конца не выяснена, хотя известно [22], что все водорастворимые полисахариды дают вязкие растворы из-за большого размера их молекул. Учитывая тот факт, что способность крахмала к клейстерообразованию обусловлена наличием в нем амилозы и амилопектина,

Табл. 3. Сравнительная оценка качества амилозы и амилопектина у популяции ГК-494-ВВ и сорта Московская 15

Признак	ГК-494-ВВ ВВЭ = 12,0 сП	Московская 15 ВВЭ = 4,1 сП
Амилоза		
Максимальная вязкость (f_2), Н	0,316	0,156
Температура максимальной вязкости (t_2), °С	69,0	69,8
Скорость деструкции (λ_2), с ⁻¹	-0,048	-0,081
Расход удельной энергии на деструкцию (e_2), Дж/г	0,587	0,150
Амилопектин		
Максимальная вязкость (f_1), Н	0,384	0,366
Температура максимальной вязкости (t_1), °С	77,4	72,1
Скорость деструкции (λ_1), с ⁻¹	-0,011	-0,026
Расход удельной энергии на деструкцию (e_1), Дж/г	0,812	0,319

мы провели сравнительную оценку изучаемых популяций ржи по 4 качественным показателям этих компонентов. Результаты этих исследований свидетельствуют (табл. 3), что максимальная вязкость амилозной фракции крахмала зерна обеих популяций была ниже, чем амилопектиновой, что можно объяснить ветвистым строением молекулы последней. Сходные различия проявились и по другим признакам: температуре максимальной вязкости, расходу удельной энергии на деструкцию, по которым преимущество имела та же амилопектиновая фракция.

В то же время многократный отбор высоковязких генотипов обусловил заметные качественные изменения как по амилозе, так и по амилопектину (рис. 3). Высоковязкая популяция ГК-494-ВВ, в сравнении с сортом Московская 15, отличалась замедленной скоростью деструкции обоих полисахаридов (по амилозе она составила 59,3 % от стан-

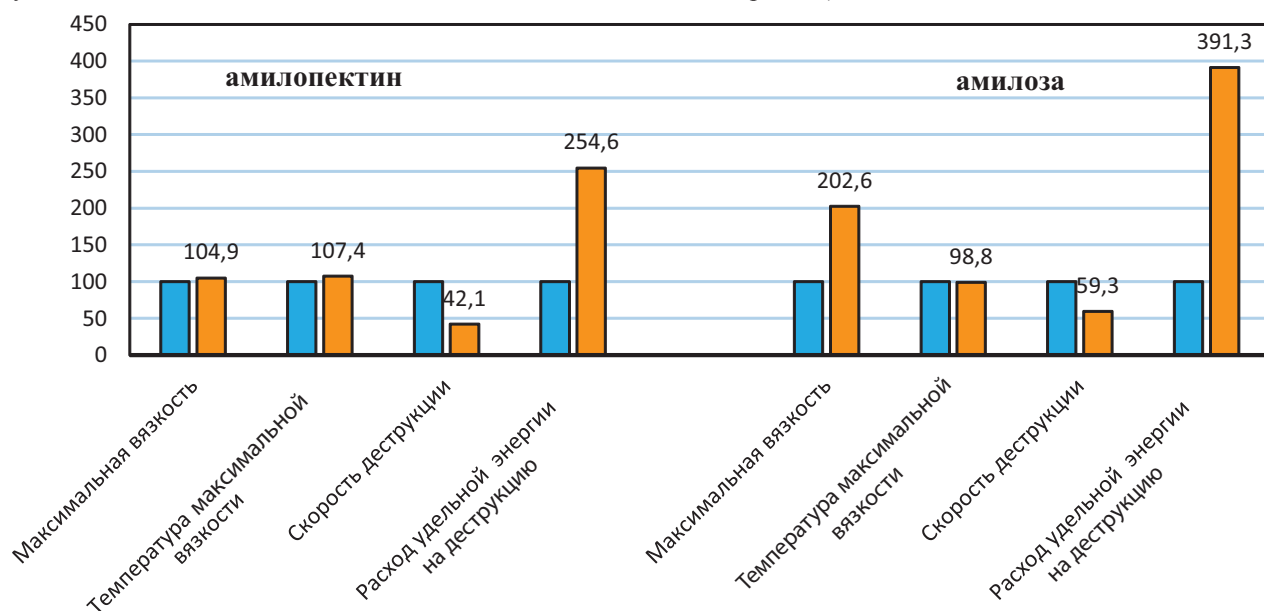


Рис. 3. Сравнительная оценка качества амилопектина и амилозы у двух популяций ржи (в %, величина признака у Московской 15 принята за 100 %): ■ – Московская 15; ■ – ГК-494-ВВ.

дарта, а по амилопектину – 42,1 %). В конечном итоге это привело к резкому увеличению расхода удельной энергии на разрушение их структуры (по амилозе – до 391,3 %, по амилопектину – до 254,6 %).

Однако по максимальной вязкости реакция амилопектиновой и амилозной фракций была неоднозначной. В результате интенсивной селекции на высокую ВВЭ уровень вязкости амилопектиновой фракции, в сравнении со стандартом, повысился всего лишь на 4,9 %, тогда как вязкость амилозной фракции увеличилась на 102,6 %, то есть была в 20 раз больше. Из этого следует, высокий потенциал ВВЭ, достигнутый методом селекции, был обусловлен не только более высоким содержанием водорастворимых пентозанов в зерне, но и дополнительным вкладом со стороны амилозы. На наш взгляд, это объясняет более высокая водорастворимость амилозной фракции, по сравнению с амилопектиновой, в результате чего многократный отбор на высокую ВВЭ затронул именно эту крахмальную фракцию.

Таким образом, многосторонняя оценка качества зерна разных по ВВЭ популяций ржи показала, что высоковязкая форма ГК-494-ВВ по ряду физико-химических, технологических и хлебопекарных свойств существенно отличается от стандарта Московская 15. Положительный коррелятивный эффект селекции на высокую ВВЭ в наибольшей степени проявился по таким признакам как твердозерность, число падения, выход отрубей при помоле, средний размер частиц муки, водопоглотительная, газообразующая и газодерживающая способность муки, температура максимальной вязкости крахмального клейстера. Отмечено значительное улучшение реологических свойств высоковязкого ржаного теста. В совокупности эти отличия способствовали тому, что хлеб из муки высоковязкой ржи характеризовался лучшей формоустойчивостью, имел лучшие структурно-механические свойства мякиша и давал более высокий выход хлеба благодаря низкому упеку. Как негативный эффект проведенного отбора следует отметить меньшее содержание крахмала, натуру зерна, массу 1000 зерен, объем формового хлеба, а также более мелкопористый мякиш.

Полученные результаты позволяют также заключить, что методом целенаправленной селекции на высокую ВВЭ можно существенно влиять на ход процесса клейстеризации крахмала и тестообразования, изменяя в нужную сторону динамику и кинетику реологического поведения клейстеризованной суспензии. Следовательно, методами селекции можно улучшать такие важные параметры фаринограммы ржаной муки как время образования ржаного теста, устойчивость и степень его разжижения, количество механической энергии на формирование структуры теста при замесе и др. В совокупности это открывает большие перспективы применения метода многопараметрической оценки технологических свойств при создании сортов озимой ржи с лучшим качеством зерна.

Литература.

1. Henry R.J. A comparison of the non-starch carbohydrates in cereal grains // *J. Sci. Food and Agric.* 1985. V. 36. No. 12. P. 1243–1253.
2. Weipert D. Pentosans as selection traits in rye breeding // *Vortr. Pflanzenzucht.* 1996. Vol. 35. P. 109–119.
3. Henry R.J. Pentosans and (1-3), (1-4)-beta-glucan concentrations in endosperm and wholegrain of wheat, barley, oats and rye // *J. Cereal Sci.* 1987. No. 6. P. 253–258.
4. Голенков В.Ф. Исследование белковых веществ ржи в связи с условиями формирования ржаной клейковины: автореф. дис. ... кан. биол. наук. М., 1961. 18 с.

5. Малофеева Ю.Н. Совершенствование технологии хлеба с использованием ржаной муки на основе биохимической модификации высокомолекулярных полисахаридов: автореф. дис. ... канд. техн. наук. М., 2004. 25 с.
6. Brummer J.M. Neue rheologische Methoden für die Mullerei // *Getreide Mehl und Brot.* 2002. Vol. 56(2). P. 74–80.
7. Nutrient and lignan content, dough properties and baking performance of rye samples used in Scandinavia / M. Nilsson, P. Aman, H. Harkonen, et al. // *Acta Agric. Scand. Select B.* 1997. Vol. 47. P. 26–34.
8. Bengtsson S., Aman P. Isolation and chemical characterization of water-soluble arabinoxylans in rye grain // *Carbohydrate Polymers.* 1990. Vol. 12 (3). P. 267–277.
9. Madej L., Raczyńska-Bojanowska K., Rybka K. Variability of the content of soluble non digestible polysaccharides in rye inbred lines // *Plant Breed.* 1990. Vol. 104 (4). P. 334–339.
10. Rakowska M. The nutritive quality of rye // *Vortr. Pflanzenzucht.* 1996. No. 35. P. 85–95.
11. Extract viscosity as an Indirect Assay for water-soluble Pentosan Content in Rye / D. Boros, R.R. Marquardt, B.A. Slominski, et al. // *Cereal Chem.* 1993. Vol. 70 (5). P. 575–580.
12. Heterogeneity in a water-extractable rye arabinoxylan with low degree disubstitution / M. Nilsson, R. Anderson, R.E. Anderson, et al. // *Carbohydrate Polymers.* 2000. Vol. 41(4). P. 397–405.
13. Content, structure and viscosity of soluble arabinoxylans in rye grain from several countries / S. Bengtsson, R. Andersson, E. Westerlund, et al. // *J. of Science of Food and Agriculture.* 1992. Vol. 58(3). P. 331–337.
14. Cyran M. R., Ceglinska A. Genetic variation in the extract viscosity of rye (*Secale cereale* L.) bread made from endosperm and wholemeal flour: impact of high-molecular-weight arabinoxylan, starch and protein // *J. Sci. Food Agric.* - 2011. Vol. 21(3). P. 469–479.
15. Многократный дивергентный отбор по вязкости водного экстракта у озимой ржи / А.А. Гончаренко, С.А. Ермаков, А.В. Макаров и др. // *Российская сельскохозяйственная наука.* 2016. №4. С. 3–8.
16. Дивергентный отбор по вязкости водного экстракта у озимой ржи / А.А. Гончаренко, А.С. Тимоценко, Н.С. Беркутова и др. // *Доклады РАСХН.* 2011. № 4. С. 3–8.
17. Тимоценко А.С., Гончаренко А.А., Лазарева Е.Н. Адаптация роторного вискозиметра VT5L/R к определению относительной вязкости водного экстракта зернового шрота озимой ржи // *Сельскохозяйственная биология.* 2008. №5. С. 110–115.
18. Информационно-измерительная система на базе прибора «Полицреотест ПРТ-1» для контроля твердозёрности пшеницы / В.Я. Черных, А.С. Максимов, Н.Ю. Быкова и др. // *Хлебопродукты.* 2020. №8. С. 57.
19. Ауэрман Л.Я. Технология хлебопекарного производства. Санкт-Петербург: Профессия, 2002. 415 с.
20. Черных В.Я., Быкова Н.Ю. Определение технологических свойств ржаной муки // *Кондитерское и хлебопекарное производство.* 2013. №3-4. С. 46.
21. Информационно-измерительные системы мониторинга динамики выпечки ржаного хлеба / Н.Ю. Быкова, В.И. Маклюков, В.Я. Черных и др. // *Хлебопечение России.* 2013. № 3. С. 16.
22. Рожь: производство, химия и технология / В. Бушук, У.П. Кэмпбелл, Э. Древис и др. М.: Колос, 1980. 247 с.
23. Голенков В.Ф., Панкратьева И.А., Приезжаева Л.Г. Биохимические особенности основных сортов озимой ржи // *Тр. ВНИИЗ.* 1970. Вып. 69. С. 161.

Поступила в редакцию 30.11.2021
После доработки 21.12.2021
Принята к публикации 26.01.2022