

УДК 664.788 / 664.668.9

РЕОЛОГИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ОТДЕЛЬНЫХ ПОТОКОВ ТРИТИКАЛЕВОЙ МУКИ

Роман Хажсетович Кандроков

кандидат технических наук, доцент

nart132007@mail.ru

Валентин Александрович Кирюшин

аспирант

agrogetti@gmail.com

Российский биотехнологический университет (РОСБИОТЕХ)

Москва, Россия

Аннотация. Целью представленной работы является определение реологических свойств отдельных потоков тритикалевой хлебопекарной муки, полученных по развитой технологической схеме. Исследованы реологические свойства отдельных потоков тритикалевой муки, полученных с различных технологических систем, с использованием системы миксолаб (Chopin Technologies, Франция). Установлено увеличение водопоглотительной способности (ВПС), снижение времени стабильности при замесе теста по мере возрастания количества периферийных частей зерновки, изменении величины индекса вязкости, который увеличивается от I-ой до III-ей драной системы, и уменьшается от 1-ой до 6-ой размольной системы. Выявлено, что наивысшее значение индекса ВПС имеет мука с 6-ой размольной системы, которая содержит наибольшее количество периферийных частей зерновки, что и обеспечивает высокую водопоглотительную способность по сравнению с другими потоками. Высокий индекс амилазы свидетельствует о слабой активности α -амилазы во всех исследуемых потоках муки. Индекс ретроградации крахмала связан со способностью готового изделия

препятствовать черствению. Высокое значение этого показателя характеризует более быстрое черствение хлеба из тритикалевой муки.

Ключевые слова: реологические свойства, поток, тритикалевая мука, водопоглощительная способность, индекс вязкости.

Введение. Использование продуктов переработки в виде сортовой хлебопекарной муки или крупы из различных нетрадиционных зерновых культур, таких как тритикале, в настоящее время является актуальной и привлекает все большее внимание как исследователей, так и производителей в различных отраслях пищевой и перерабатывающей промышленности Российской Федерации. Это обусловлено увеличением посевных площадей, увеличением урожайности зерна тритикале, созданием новых сортов зерна тритикале пищевого назначения, многочисленными исследованиями технологического, биохимического и биологического потенциала зерна тритикале [1-5].

Тритикале – уникальная зерновая культура, созданная человеком путем гибридизации пшеницы и ржи, и обладающая высокими показателями пищевой ценности, зачастую превосходящими аналогичные показатели обеих родительских форм [1]. В настоящее время в Российской Федерации зерно тритикале используют, в основном, как зерновой компонент комбикормов и небольшую часть - для производства спирта. Перспективно применение тритикалевой муки в качестве исходного сырья, вместо пшеничной хлебопекарной муки, при производстве мучных кондитерских изделий: печенья, бисквитов, коржиков, вафель, кексов, крекеров и т.д. Тритикалеву муку можно применять при производстве лапши, не требующей варки, быстрых завтраков или для изготовления диетических и лечебно-профилактических сортов хлеба, в том числе, цельнозернового и мультизернового [6-8]. Кроме того, тритикалеву крупку можно использовать для производства макаронных изделий массового спроса. Актуальным направлением научных исследований является технология переработки зерна тритикале на крахмал [9]. Еще одним направлением является использование тритикалевых отрубей для производства пищевых волокон [10] и биомодифицированных продуктов переработки зерна тритикале [11]. При этом следует указать, что промышленное производство сортовой тритикалевой муки на действующих мукомольных заводах в РФ в настоящее время отсутствует.

До недавнего времени зерно тритикале по своим технологическим свойствам, в основном, рассматривалась как аналог зерна ржи [1-3]. Но работы российских селекционеров и ученых смежных специальностей позволили разработать и внедрить в практику сельского хозяйства новые перспективные сорта тритикале с преобладанием пшеничного генотипа, что отражается на фенотипических признаках зерна тритикале, а именно, на размерных характеристиках, форме зерновки (коэффициент сферичности более 0,8), цветовой окраски, структурно-механических и технологических свойствах [12-13].

Целью представленной работы является определение реологических свойств отдельных потоков тритикалевой хлебопекарной муки, полученных по развитой технологической схеме.

Материалы и методы. В экспериментальных исследованиях, проведенных в отделах комплексной переработки зерна и безопасности зерна и зернопродуктов ВНИИЗ – филиале ФГБНУ «ФНЦ пищевых систем им. В.М. Горбатова» РАН и Российском биотехнологическом университете (РОСБИОТЕХ), использовали сорт озимого зерна тритикале «Слон» урожая 2022 г., выведенный ФГБНУ «НЦЗ им. П.П. Лукьяненко».

Белизну отдельных потоков тритикалевой муки определяли методом измерения отражательной способности уплотненно-сглаженной поверхности муки с применением фотоэлектрического прибора, зольность – сжиганием муки и отрубей с последующим определением массы несгораемого остатка, водопоглотительной способности и отрубей с последующим определением массы несгораемого остатка, водопоглотительной способности и реологических свойства – измерением и регистрацией консистенции теста в процессе его образования из воды и муки, развития теста и изменения его консистенции во времени в процессе замеса с использованием прибора миксолаб (Chopin Technologies, Франция).

Результаты и их обсуждение. На первом этапе исследований были проведены лабораторные помолы зерна тритикале в сортовую хлебопекарную

муку, после которых были сформированы сорта тритикалевой муки из 3-х полученных потоков муки А, Б и В [2]. Поток А представляет собой муку из центральной части эндосперма, полученная на 1-3 размольных системах + 1 шлифовочная система, по развитой схеме, и мука, полученная 1-3 размольных системах, по сокращенной схеме переработки. Поток Б представляет собой муку из периферийной части эндосперма и субалейронового слоя, полученная на 3 и 4 размольных системах и на I-III драных систем. Поток В состоит из фрагментов эндосперма и оболочек из остальных технологических систем.

На втором этапе исследований осуществляли оценку реологических свойств [9] 10-ти отдельных потоков тритикалевой муки из зерна сорта «Саур», полученных по развитой технологической схеме с использованием системы миксолаб (Chopin Technologie, Франция), в протоколе Chopin+, который предполагает 5 фаз исследования: I длится 8 мин при температуре 30 °С; II – 15 мин при последовательном повышении температуры со скоростью 4 °С в минуту от 30 до 90 °С; III – 8 минут при температуре 90 °С; IV – 10 мин, при последовательном понижении температуры от 90 до 50 °С; V – 5 мин при температуре 50 °С. Крутящий момент в анализируемых точках графика, с точки зрения биохимических процессов, характеризует: C1 – образование теста; C2 – разжижение теста; C3 – максимальную скорость клейстеризации крахмала; C4, C5 – начало и окончание ретроградации крахмала в рамках эксперимента; α , β , γ – скорости биохимических реакций (расчетные величины). Анализировали также следующие показатели: водопоглотительную способность теста (ВПС), %; время образования теста, мин; стабильность теста, мин. Данные интегральной оценки реологических свойств теста визуализируются на графике зависимости крутящего момента (Н·м) от времени (мин) в определенном режиме температуры (табл. 1,2) [10].

Значение вязкости было различным и составило 2 балла для I драной системы, 7 баллов для 1 размольной и 5 баллов для 4 размольной системы. Стоит заметить, что вязкость зависит как от состояния крахмала, так и от активности амилаз, а также от периферийных частей, которые содержат

некрахмалистые полисахариды. Показатель амилазы зависит от амилолитической активности муки. Чем выше его значение, тем ниже активность ферментов. «Индекс ретроградации крахмала» связан со скоростью черствения готового изделия. Высокое значение этого показателя характеризует более быструю скорость черствения.

Таблица 1

Основные параметры фаз реологического анализа теста отдельных потоков тритикалевой муки из зерна сорта «Слон»

Потоки муки с технологической системы	ВПС, %	Стабильность, мин	C1	C2	C3	C4	C5
I драная система	53,9	4,39	1,028	0,261	1,269	2,181	3,651
II драная система	54,2	4,22	1,111	0,292	1,398	2,289	3,772
III драная система	54,7	4,66	1,232	0,343	1,811	2,251	3,533
1 шлифовочная система	54,9	5,14	1,003	0,315	2,027	2,442	3,867
1 размольная система	54,3	5,58	1,105	0,329	1,952	2,455	4,219
2 размольная система	54,8	5,69	1,162	0,373	2,043	2,488	4,146
3 размольная система	56,4	5,37	1,149	0,368	1,817	2,438	3,965
4 размольная система	57,5	5,71	1,078	0,344	1,764	2,263	3,494
5 размольная система	57,8	5,14	1,107	0,336	1,505	1,974	3,062
6 размольная система	58,6	4,88	1,240	0,347	1,881	1,833	2,728

Как видно из таблицы 1, ВПС муки потоков повышается от 1 размольной до 6 размольной систем, что связано с появлением большего количества периферийных водопоглощающих частиц в муке. На драных системах от первой до третьей, также наблюдается увеличение ВПС. Мука, полученная на шлифовочной системе, занимает промежуточное положение между драными и размольными системами и имеет ВПС 55,0%.

В течении I-ой фазы (C1) стабильность потоков неравномерная, однако можно наблюдать тенденцию уменьшения времени стабильности от 1-ой до 6-ой размольной системы, что также может быть связано с увеличением содержания периферийных частиц и уменьшением времени образования теста.

На II фазе (C2) кривой миксолабограммы отмечается наименьший крутящий момент, что связано с разжижением теста и косвенно характеризует состояние белкового комплекса. Вязкость увеличивается от I драной до III драной системы. Наименьшая вязкость наблюдается на шлифовочной системе. На размольных системах наблюдается повышение крутящего момента, а затем его снижение, что, по-видимому, связано с увеличением доли периферийных фракций в муке данных систем.

Таблица 2

Расчетные значения скоростей реакций* для отдельных потоков тритикалевой муки из зерна сорта «Слон»

Потоки муки с технологической системы	α , Н·м/мин	β , Н·м/мин	γ , Н·м/мин	Крутящий момент, Н·м/мин	Амплитуда, Н·м/мин
I драная система	-0,041	0,129	0,091	3,638	0,128
II драная система	-0,058	0,158	0,082	3,770	0,139
III дранная система	-0,063	0,367	0,044	3,532	0,142
1 шлифовочная система	-0,054	0,319	0,028	3,863	0,111
1 размольная система	-0,059	0,291	0,043	4,217	0,112
2 размольная система	-0,063	0,421	0,039	4,146	0,137
3 размольная система	-0,061	0,286	0,017	3,961	0,173
4 размольная система	-0,055	0,313	0,019	3,493	0,067
5 размольная система	-0,054	0,212	0,033	3,062	0,088
6 размольная система	-0,058	0,394	0,024	2,729	0,146

*) α – характеристика скорости реакции разжижения, выражаемая углом наклона касательной к миксолабограмме от момента достижения температуры 30°C до точки C2; β – характеристика скорости реакции клейстеризации крахмала, выражаемая углом наклона касательной к миксолабограмме на участке C2–C3; γ – характеристика скорости амилолиза, выражаемая углом наклона касательной к миксолабограмме на участке C3–C4.

В процессе III фазы (C3) происходит разрушение гранул крахмала и его клейстеризация, что приводит к повышению крутящего момента. Наблюдается четкая зависимость повышения момента силы от гранулометрического состава муки на драной системе и его снижения на размольной.

В течении IV фазы (С4) наблюдается плавное увеличение крутящего момента на драных системах и его снижение на последних размольных системах. Максимально высокий крутящий момент зафиксирован на 2-ой размольной системе.

V фаза (С5) характеризует процесс ретроградации крахмала при охлаждении и скорость черствления готовых мучных изделий. Здесь особо заметно уменьшение крутящего момента на размольных системах с 4,221 Н·м на 1-ой размольной до 2,731 Н·м на 6-ой размольной (табл. 2).

В таблице 3 представлены реологические характеристики отдельных потоков тритикалевой муки в виде шести последовательных индексов: индекс водопоглотительной способности (ВПС), индекс замеса теста, индекс клейковины, индекс вязкости, индекс амилазы, индекс ретроградации крахмала.

Таблица 3

Индексы профилей миксолаба потоков тритикалевой муки из зерна сорта «Слон»

Потоки муки с технологической системы	Индексы профилей Миксолаба					
	Индекс ВПС	Индекс Замеса	Индекс Клейковины	Индекс Вязкости	Индекс Амилазы	Индекс Ретроградации крахмала
I драная система	2	2	4	3	8	7
II драная система	2	1	4	4	8	7
III драная система	2	1	3	7	7	7
1 шлифовочная система	3	2	4	7	7	7
1 размольная система	2	3	5	8	8	7
2 размольная система	3	3	4	7	8	7
3 размольная система	4	3	4	5	8	7
4 размольная система	5	4	3	4	7	6
5 размольная система	5	4	3	3	7	6
6 размольная система	4	4	4	2	7	6

Анализ индексов профилей (табл. 3) показывает, что наивысшее значение индекса ВПС имеет мука с 6-ой размольной системы, которая содержит наибольшее количество периферийных частей зерновки, что и обеспечивает высокую водопоглотительную способность по сравнению с другими потоками. Индекс замеса связан со стабильностью теста при замесе, которая составляет 4,42 мин для I драной (1 балл), 5,62 мин для 1 размольной (2 балла) и 5,65 мин для 4 размольной системы (2 балла) соответственно. Индекс клейковины характеризует устойчивость белковых молекул во время нагревания теста в интервале от 30 °С до 60 °С.

Обсуждение результатов. Интерпретация индекса клейковины представляет определенную сложность, поскольку во время нагревания теста в этом интервале температуры происходят два очень важных явления: гранулы крахмала начинают набухать, но их структура остается неизменной, при этом действие α -амилазы, если и имеет место, то совсем незначительное. Изменение консистенции теста в большей степени связано с изменениями в структуре клейковинных белков, в частности, с разрывом водородных связей или же лучшей устойчивостью белков, которая также связана с их пространственной структурой, а, в конечном счете, с природой данных белковых комплексов [11,12]. В формировании качества клейковины, ее упруго-эластичных свойств, определяющую роль играют фракции клейковинных белков – глиадин и глютенин. Однако необходимо учитывать роль и других соединений, которые находятся во взаимодействии с клейковинными белками и оказывают влияние на структуру и свойства клейковины, а именно липидов, углеводов, ферментов (протеазы и их белковые ингибиторы, амилазы, липоксигеназа) [12].

Значение индекса вязкости составило 2 балла для муки с I драной системы, 7 баллов для муки с 1 размольной и 5 баллов для муки с 4 размольной системы. Этот показатель характеризует фазу, при которой наибольшее количество физико-химических и биохимических параметров вступает во взаимодействие. Стоит заметить, что вязкость в данных образцах зависит не только от активности амилаз, но и от состояния крахмала, его качественных

характеристик, а также присутствия периферийных частей, содержащих некрахмальные полисахариды. Индекс амилазы косвенно характеризует амилолитическую активность муки. Высокий индекс амилазы свидетельствует о слабой активности α -амилазы во всех исследуемых потоках муки. Индекс ретроградации крахмала связан со способностью готового изделия противостоять черствению. Высокое значение этого показателя характеризует более быструю скорость черствения.

Заключение. Таким образом, по результатам проведенных исследований установлено, что реологические свойства тритикалевой муки с различных технологических систем (потоков) наглядно демонстрируют закономерное увеличение ВПС, снижения времени стабильности при замесе теста по мере возрастания количества периферийных частей зерновки.

Выявлено, что влияние состояния белково-протеинозного и углеводно-амилазного комплексов отдельных потоков муки наряду с влиянием других факторов, в том числе, и с присутствием некрахмальных полисахаридов из периферийных частей зерновки, в большей степени проявляется в изменении величины индекса вязкости, который увеличивается от I до III драной системы, и уменьшается от 1-ой до 6-ой размольной системы.

Вязкость в данных образцах тритикалевой муки зависит не только от активности амилаз, но и от состояния крахмала, его качественных характеристик, а также присутствия периферийных частей, содержащих некрахмальные полисахариды. Индекс амилазы косвенно характеризует амилолитическую активность муки.

Высокий индекс амилазы свидетельствует о слабой активности α -амилазы во всех исследуемых потоках муки. Индекс ретроградации крахмала связан со способностью готового изделия противостоять черствению. Высокое значение этого показателя характеризует более быструю скорость черствения хлеба.

Список литературы:

1. Витол, И. С., Карпиленко, Г. П., Кандроков, Р. Х., Стариченков, А. А., Коваль, А. И., Жильцова Н. С. (2015). Белково-протеиназный комплекс зерна тритикале. Хранение и переработка сельхозсырья, 8, 36-38.
2. Витол И. С., Мелешкина Е. П., Кандроков Р. Х., Вережникова И. А., Карпиленко Г. П. (2016). Биохимическая характеристика новых сортов тритикалевой муки. Хлебопродукты. №2. С. 42-44.
3. Витол И. С., Мелешкина Е. П., Кандроков Р. Х. (2016). Продукты переработки зерна тритикале как объект для ферментативной модификации. Хранение и переработка сельхозсырья. № 9. С. 14-18.
4. Магомедов Г. О., Малютина Т. Н., Шапкарина А. И. (2016). Разработка технологии сбивных мучных кондитерских изделий повышенной пищевой ценности с применением тритикалевой муки. Вестник ВГУИТ. № 1. С. 106-109. <https://doi.org/10.20914/2310-1202-2016-1-106-109>.
5. Карчевская О. В., Дремучева Г. Ф., Грабовец А. И. (2013). Научные основы и технологические аспекты применения зерна тритикале в производстве хлебобулочных изделий. Хлебопеченье России. № 5. С. 28-29.
6. Корячкина С. Я., Кузнецова Е. А., Черепнина Л. В. (2012). Технология хлеба из целого зерна тритикале. Орел: ГУ-УНПК. 116 с.
7. Панкратов Г. Н., Мелешкина Е. П., Кандроков Р. Х., Витол И. С. (2016). Технологические свойства новых сортов тритикалевой муки. Хлебопродукты. № 1. С. 60-62.
8. Панкратов Г. Н., Кандроков Р. Х., Коломиец С. Н. (2017). Технологические свойства зерна тритикале с повышенной амилолитической активностью // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. № 7(153). С. 22-30.
9. Панкратов Г. Н., Мелешкина Е. П., Витол И. С., Кандроков Р. Х. (2017). Актуальные направления развития мукомольной отрасли пищевой отрасли. Хранение и переработка сельхозсырья. № 4. С. 29-31.

10. Туляков Д. Г., Мелешкина Е. П., Витол И. С., Панкратов Г. Н., Кандроков Р. Х. (2017). Оценка свойств муки из зерна тритикале с использованием системы Миксолаб. Хранение и переработка сельхозсырья. № 1. С. 20-23.

11. Grabovets A. I., Krokmal A. V., Dremucheva G. F., Karchevskaya O. E. (2013). Breeding of triticale for baking purposes. Russ. Agric. Sci, 39, 197–202. <https://doi.org/10.3103/S1068367413030087>.

12. Kandrokov R. KH., Pankratov G. N., Meleshkina E. P., Vitol I. S., and Tulyakov D. G. (2019). Effective technological scheme for processing triticale grain into high-quality baker's grade flour. Foods and Raw Materials, 7(1), 107-117. <https://doi.org/10.21603/2308-4057-2019-1-107-117>.

13. Kandrokov R. KH. (2023). Effects of triticale flour on the quality of honey cookies. Foods and Raw Materials, 7(2), 216-223. <https://doi.org/10.21603/2308-4057-2023-2-568>.

UDC 664.788 / 664.668.9

RHEOLOGICAL PROPERTIES OF INDIVIDUAL STREAMS OF TRITICALE FLOUR

Roman Kh. Kandrokov

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor

nart132007@mail.ru

Valentin A. Kiryushin

graduate student

agrogetti@gmail.com

Russian Biotechnological University

Moscow, Russia

Annotation. The purpose of the presented work is to determine the rheological properties of individual triticale baking flour streams obtained according to a developed technological scheme. The rheological properties of individual triticale flour streams obtained from various technological systems were studied using the mixolab system (Chopin Technologies, France). An increase in water absorption capacity (WAP), a decrease in stability time when kneading dough was established as the number of peripheral parts of the grain increased, and the value of the viscosity index changed, which increased from the 1st to the 3rd tear system, and decreased from the 1st to 6th grinding system. It was revealed that the highest value of the WPS index is the flour from the 6th grinding system, which contains the largest number of peripheral parts of the grain, which ensures high water absorption capacity compared to other streams. A high amylase index indicates weak α -amylase activity in all studied streams of flour. The starch retrogradation index is related to the ability of the finished product to prevent staling. A high value of this indicator characterizes faster staling of bread made from triticale flour.

Key words: rheological properties, flow, triticale flour, water absorption capacity, viscosity index.

Статья поступила в редакцию 20.08.2023; одобрена после рецензирования 19.10.2023; принята к публикации 27.10.2023.

The article was submitted 20.08.2023; approved after reviewing 19.10.2023; accepted for publication 27.10.2023.