

МРНТИ 65.29.31

Н. Онгарбаева¹ – основной автор,
А.И. Изтаев², А.Т. Киябаева³,
М.А. Якияева⁴, М.Д. Кенжеходжаев⁵



¹Д-р техн. наук, профессор, ²Д-р техн. наук, профессор, академик НАН РК,
³Докторант, ⁴Ph.D, ассоц. профессор, ⁵Канд. техн. наук, доцент



¹<https://orcid.org/0000-0001-7908-5091> ²<https://orcid.org/0000-0002-7385-482X>

³<https://orcid.org/0000-0001-7021-0087> ⁴<https://orcid.org/0000-0002-8564-2912>

⁵<https://orcid.org/0001-6924-4589>



^{1,2,3,4}Алматинский технологический университет, г. Алматы, Казахстан

⁵Таразский университет им. М. Х. Дулати, г. Тараз, Казахстан



⁴yamadina88@mail.ru

<https://doi.org/10.55956/MSTV4655>

ВЛИЯНИЕ ДИСПЕРСНОГО СОСТАВА ТРИТИКАЛЕВОЙ МУКИ НА ЕЁ ХИМИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ И РЕОЛОГИЮ ТЕСТА

Аннотация. В работе представлены результаты исследования влияния дисперсного состава муки из зерна тритикале сортов Таза, Азиада и Кожа на ее химико-технологические свойства и реологические характеристики теста. Ситовой анализ показал, что фракции с размером частиц 125-190 мкм обладают повышенным содержанием белка (12,2-13,3%) и умеренным уровнем крахмала (62,3-64,5%), что способствует формированию теста с благоприятной структурой и высокими технологическими показателями. Испытания с использованием прибора Mixolab подтвердили высокую стабильность теста при замесе, хорошую водопоглотительную способность и устойчивость к механическим и термическим воздействиям. Установлены статистически значимые корреляции между размером частиц и содержанием белка ($r = 0,85$), а также между содержанием крахмала и стабильностью теста ($r = 0,78$). Полученные данные позволяют прогнозировать технологическое поведение муки и оптимизировать параметры ее переработки. Рекомендуется использовать фракции размером 125-190 мкм для производства хлебобулочных изделий с высокими требованиями к газоудерживающей способности и стабильности теста.

Ключевые слова: тритикале, мука, дисперсный состав, размер частиц, белок, крахмал, реологические свойства, Mixolab, хлебопекарные свойства, корреляционный анализ.



Онгарбаева, Н. Влияние дисперсного состава тритикалевой муки на её химические показатели и реологию теста [Текст] / Н. Онгарбаева, А.И. Изтаев, А.Т. Киябаева, М.А. Якияева, М.Д. Кенжеходжаев //Механика и технология / Научный журнал. – 2025. – №3(89). – С.47-62. <https://doi.org/10.55956/MSTV4655>

Введение. В условиях усиливающегося глобального продовольственного давления, вызванного ростом населения, изменением климата и нестабильностью поставок традиционных зерновых культур, международное научное сообщество все активнее обращает внимание на

альтернативные источники зернового сырья. Одним из перспективных объектов в этом контексте выступает зерно тритикале (\times *Triticosecale Wittmack*) – межродовой гибрид пшеницы (*Triticum*) и ржи (*Secale*), сочетающий в себе ряд ценных агрономических и технологических характеристик [1,2].

Тритикале унаследовало от своих родительских форм высокую биологическую продуктивность, адаптационную устойчивость к неблагоприятным климатическим и почвенным условиям, а также сбалансированный химический состав зерна, включающий повышенное содержание белка, клетчатки и биологически активных веществ [3,4]. Благодаря этим свойствам культура успешно возделывается более чем в 35 странах мира, включая Польшу, Германию, Францию, Китай, а также государства Восточной Европы, Закавказья и Центральной Азии, включая Казахстан [5,6].

Первоначально тритикале использовалось преимущественно в кормопроизводстве и технических отраслях, однако в последние десятилетия наблюдается устойчивый рост интереса к его применению в пищевой промышленности, особенно в производстве хлебобулочных изделий [7,8]. Это объясняется не только улучшенным аминокислотным профилем белка тритикале, но и выраженной ферментативной активностью зерна, способствующей активизации биохимических процессов при брожении теста, что потенциально улучшает структуру и качество хлеба.

Тем не менее, несмотря на высокий питательный и технологический потенциал, использование муки из тритикале в хлебопечении сталкивается с рядом ограничений. Одним из ключевых факторов, влияющих на пригодность муки, является ее дисперсный состав, то есть размерный состав частиц, получаемых при размоле зерна. Этот параметр определяет водопоглощающую способность муки, пластичность и реологию теста, а также пористость, цвет и объем конечных изделий [9,10]. Таким образом, фракционный состав муки играет решающую роль в оценке технологической ценности зерна тритикале.

В Казахстане тритикале постепенно входит в структуру посевных площадей, и отдельные сорта уже прошли официальное районирование. Однако системные научные данные о взаимосвязи между анатомоморфологическими особенностями местных сортов и их мукомольными и хлебопекарными характеристиками остаются ограниченными. В частности, актуальной задачей является изучение влияния фракционного состава зерна на технологические свойства муки, включая ее поведение в тесте, что требует привлечения современных методов анализа и статистической обработки. Систематизация таких данных позволит обоснованно рекомендовать сорта тритикале для использования в пищевой промышленности и откроет новые возможности для расширения ассортимента функциональных хлебобулочных изделий.

Цель исследования. Оценить дисперсный состав муки из зерна тритикале различных сортов и выявить его связь с химическими характеристиками муки и реологическими свойствами теста в сортовом разрезе.

Задачи исследования:

1. Провести дисперсный анализ муки, полученной из зерна сортов тритикале, с использованием ситового метода.

2. Определить химический состав муки по каждой дисперсной фракции.
3. Оценить реологические характеристики теста, приготовленного из муки разных сортов тритикале.
4. Установить корреляционные зависимости между дисперсностью муки и ее химико-технологическими показателями.
5. Дать рекомендации по целевому использованию тритикалевой муки различной степени дисперсности.

Научная новизна. Впервые выполнен комплексный анализ взаимосвязи между дисперсным составом муки из зерна тритикале казахстанской селекции и ее химическим составом, а также реологией теста, что позволило количественно обосновать роль дисперсности как критерия хлебопекарной пригодности.

Практическая значимость. Полученные данные могут быть использованы для прогнозирования хлебопекарных свойств муки на основании ее дисперсного состава, а также для оптимизации технологических режимов переработки тритикале при производстве продукции заданного функционального назначения.

Условия и методы исследования. Объектом исследования являлась мука, полученная из зерна сортов тритикале (Таза, Азиада, Кожа), возделываемых в Казахстане. Выбор сортов обусловлен их распространенностью и потенциальной пригодностью для продовольственного использования, в частности, в хлебопекарной промышленности.

Размеры частиц муки определяли методом ситового анализа на лабораторном рассеве РЛ-3М с использованием сит с диаметром ячеек 160, 125, 100, 80, 60, 50 и 40 мкм. Мукомольные и химические показатели каждой дисперсной фракции муки оценивали в соответствии с действующими нормативными документами: влажность – по ГОСТ 9404-88, зольность – по ГОСТ 27493-87, белизну – по ГОСТ 26361-2013, число падения – по ГОСТ 30498-97, содержание и качество сырой клейковины – по ГОСТ 13586.1-2016. Химический состав муки определяли по следующим стандартам: белок – по ГОСТ 10846-91, крахмал – по ГОСТ 10865-85, жир – по ГОСТ 10857-64, сахара – по ГОСТ 26176-84, клетчатка – по ГОСТ 31675-2012. Реологические свойства теста, приготовленного из муки с различной дисперсностью, исследовали с использованием приборов Mixolab (по ISO 17718) и Альвеограф (по ГОСТ ISO 27971-2016).

Результаты исследований и их обсуждение. Для изучения влияния дисперсного состава на технологические свойства тритикалевой муки проведено ее фракционирование методом ситового анализа. Были выделены дисперсные фракции в диапазоне 40-160 мкм, по которым выполнена комплексная оценка физико-химических показателей. Дополнительно, в сортовом разрезе (Таза, Азиада, Кожа), исследованы реологические свойства теста, что позволило оценить вклад дисперсности муки в формирование хлебопекарных характеристик. Влияние размера частиц муки на ее функциональные свойства, включая цветовой показатель, содержание клейковины и ее качество, а также реологические характеристики теста, подтверждено в ряде исследований [11,12]. Так, с уменьшением размера частиц муки ее цветовой показатель увеличивается, а количество клейковины и ее показатель ИДК снижаются, что влияет на хлебопекарные свойства муки.

Следовательно, исследование дисперсного состава муки позволяет более глубоко понять механизмы формирования ее технологических характеристик и определить ее пригодность для целевого использования [13,14].

На предварительном этапе зерно тритикале отобранных сортов подвергли лабораторному помолу на установке МЛУ-202. Полученную муку охарактеризовали по ключевым показателям качества. Результаты представлены в таблице 1.

Таблица 1

Показатели качества муки из зерна тритикале

Показатель	Сорта		
	Таза	Азиада	Кожа
Влажность, %	14,6	14,8	15,0
Количество сырой клейковины, %	28,2	24,3	17,8
Качество клейковины ИДК, ед. пр.	86	90	101
Крупность помола (сход с сита №43)	6,75	10,25	10,75
Зольность, %	0,78	0,78	0,86
Число падения, с	116,3	106	90,3

Анализ данных таблицы 1 показал, что мука из зерна сорта Таза характеризуется наилучшими показателями: высоким содержанием сырой клейковины (28,2%), ее оптимальным качеством (ИДК – 86 ед.), низкой зольностью (0,78%) и высокой белизной (49,5 усл. ед.).

Мука сорта Азиада продемонстрировала удовлетворительные параметры: содержание сырой клейковины – 24,3%, ИДК – 90 ед., зольность – 0,78%, белизна – 47,8 усл. ед.

Для муки сорта Кожа зафиксированы сниженные технологические характеристики: содержание сырой клейковины – 17,8%, ИДК – 101 ед., повышенная зольность (0,86%) и пониженная белизна (46,5 усл. ед.).

Значения числа падения варьировали от 116,3 с (сорт Таза) до 90,3 с (сорт Кожа), отражая различия в активности амилазных комплексов.

На следующем этапе исследования с использованием ситового анализа произведено фракционирование муки по дисперсному составу с выделением фракций размером 260, 190, 160, 125, 100, 80, 60, 50 и 40 мкм. Показатели качества указанных фракций для каждого сорта тритикале представлены в таблицах 2, 3 и 4 соответственно.

Таблица 2

Показатели качества дисперсных фракций муки из зерна тритикале сорта Таза

Показатель качества муки	Размеры частицы муки, мкм								
	260	190	160	125	100	80	60	50	40
Влажность, %	14,10	14,13	14,28	14,25	14,60	14,38	14,38	14,10	13,95
Зольность, %	0,75	0,74	0,74	0,75	0,76	0,78	0,79	0,79	0,78
Белизна, усл.ед.	54	56	56	55	53	52	51	52	51
Число падения, с	166	171	170	158	146	144	138	137	131
Количество сырой клейковины, %	17,4	19,1	17,2	17,0	16,4	15,3	13,9	10,6	9,8
(ИДК) ед. приб.	86	86	85	85	86	87	88	88	89

Результаты анализа дисперсных фракций муки сорта Таза (табл. 2) показывают, что с уменьшением размера частиц наблюдается постепенное снижение зольности (от 0,79 до 0,74%) и белизны (от 56 до 51 усл. ед.), что обусловлено увеличением доли периферийных частей зерна в мелких дисперсных фракциях. Наибольшее количество сырой клейковины зафиксировано у фракций 190 мкм (19,1%) и 260 мкм (17,4%), при этом отмечается закономерное ее снижение до 9,8% у наиболее дисперсных фракций (40 мкм). Показатель ИДК варьирует от 85 до 89 ед., демонстрируя ослабление клейковинного каркаса по мере уменьшения размера частиц. Число падения убывает с 171 до 131 с, что свидетельствует об увеличении активности α -амилазы в более тонких фракциях. Оптимальные хлебопекарные характеристики, сочетающие высокое содержание и качество клейковины, а также сбалансированную ферментативную активность, выявлены в фракциях 125-190 мкм, что подтверждает их наибольшую технологическую ценность.

Таблица 3

Показатели качества дисперсных фракций муки из зерна тритикале сорта Азиада

Показатель качества муки	Размеры частицы муки, мкм								
	260	190	160	125	100	80	60	50	40
Влажность, %	14,13	14,28	14,25	14,30	14,98	14,20	14,23	14,10	14,15
Зольность, %	0,76	0,75	0,75	0,74	0,76	0,77	0,77	0,78	0,78
Белизна, усл. ед.	54	55	55	55	55	47	49	37	36
Число падения, с	168	165	169	154	147	144	140	136	130
Количество сырой клейковины, %	16,0	16,8	16,3	17,2	15,1	13,9	11,7	10,6	10,0
(ИДК), ед. приб.	88	86	86	88	89	90	92	89	90

Анализ представленных в таблице 3 данных позволяет охарактеризовать качественные параметры дисперсных фракций муки, полученной из зерна сорта тритикале Азиада, в контексте их технологической пригодности. Во всех фракциях отмечается стабильный уровень влажности, варьирующий от 14,10% до 14,98%, что соответствует нормативным требованиям. Зольность постепенно увеличивается от более крупных фракций (0,75-0,76%) к мелким (до 0,78%). Белизна муки снижается с уменьшением размера частиц: от 55 усл. ед. в диапазоне 160-125 мкм до 36 усл. ед. в дисперсной фракции 40 мкм. Это свидетельствует о росте доли пигментированных частиц оболочек в мелкой дисперсной муке. Число падения, отражающее ферментативную активность, закономерно снижается от 168 с в крупной фракции (260 мкм) до 130 с в наиболее мелкой (40 мкм), что может быть связано с увеличением активности амилазы в оболочечном материале.

Таблица 4 характеризует качественные параметры дисперсных фракций муки, полученной из зерна сорта тритикале Кожа, отличающегося сниженной хлебопекарной ценностью по сравнению с другими исследованными сортами.

Влажность варьирует в диапазоне 13,2-14,5%, оставаясь в пределах допустимых норм, что свидетельствует о стабильности условий хранения и подготовки пробы. Зольность колеблется в узких пределах (0,73-0,77%), что указывает на равномерное распределение оболочечных элементов по

фракциям. Белизна муки уменьшается с уменьшением размера частиц – от 57 усл. ед. (260 мкм) до 43 усл. ед. (40 мкм). Число падения изменяется от 164 до 136 с, указывая на рост ферментативной активности в тонкодисперсной муке, связанный с повышенной концентрацией периферийных структур зерна. Максимальное содержание сырой клейковины (16,3%) выявлено во фракции 160 мкм, при этом в мелких фракциях (60-40 мкм) оно снижается до 9,8%. Качество клейковины по ИДК варьирует в пределах 94-101 усл. ед., что соответствует слабой клейковине (II-III группа). Дисперсные фракции с размерами 125-190 мкм можно рассматривать как наиболее пригодные для хлебопекарных целей благодаря оптимальному сочетанию зольности, содержанию и качеству клейковины, а также значению числа падения, удовлетворяющему технологическим требованиям.

Таблица 4

Показатели качества дисперсных фракций муки из зерна тритикале сорта Кожа

Показатель качества муки	Размеры частицы муки, мкм								
	260	190	160	125	100	80	60	50	40
Влажность, %	14,1	13,6	14,2	13,2	14,5	14,4	13,5	13,5	13,6
Зольность, %	0,77	0,75	0,74	0,73	0,76	0,76	0,77	0,76	0,74
Белизна, усл. ед.	57	55	53	54	47	46	45	45	43
Число падения, с	164	166	159	152	142	140	139	138	136
Количество сырой клейковины, %	15,5	16,2	16,3	16,2	16,0	15,1	11,6	10,9	9,8
(ИДК), ед приб.	98	95	94	99	100	101	101	100	101

После оценки технологических показателей муки, полученной из различных фракций, проведен анализ их химического состава, включающий содержание белка, крахмала, жира, клетчатки и сахаров. Полученные данные представлены в таблицах 5, 6 и 7 соответственно для сортов Таза, Азиада и Кожа.

Таблица 5

Химический состав дисперсных фракций муки из зерна тритикале сорта Таза

Показатель	Размеры частицы муки, мкм								
	260	190	160	125	100	80	60	50	40
Белок, %	13,31	13,34	12,96	12,32	12,00	11,96	11,82	11,82	11,74
Крахмал, %	61,5	62,3	63,4	64,1	64,9	66,3	66,8	68,7	70,4
Жир, %	1,38	0,98	1,32	1,01	0,86	0,63	0,53	0,47	0,30
Сахара, %	2,10	2,13	2,12	2,11	1,89	2,30	1,00	0,89	0,71
Клетчатка, %	0,50	0,50	0,48	0,45	0,46	0,36	0,33	0,38	0,28

Таблица 5 отражает изменения химического состава муки из зерна сорта Таза в зависимости от размера частиц. С уменьшением дисперсности наблюдается снижение содержания белка (от 13,34% до 11,74%) и клетчатки (от 0,50% до 0,28%), при одновременном увеличении доли крахмала (от 61,5% до 70,4%). Показатели содержания жира и сахаров также снижаются в более тонких фракциях. Углеводный профиль (сахара) варьирует от 2,13% до 0,71%, при этом пики наблюдаются в фракциях 190-125 мкм, тогда как фракции ≤ 60 мкм характеризуются минимальными значениями. По совокупности показателей фракции с размерами 190-125 мкм демонстрируют

оптимальное соотношение белка и крахмала, что делает их наиболее пригодными для хлебопекарного использования.

Таблица 6

Химический состав дисперсных фракций муки из зерна тритикале сорта Азиада

Показатель	Размеры частицы муки, мкм								
	260	190	160	125	100	80	60	50	40
Белок, %	13,21	13,25	13,17	13,08	12,83	12,47	11,42	11,40	11,11
Крахмал, %	61,4	61,8	62,9	64,5	64,8	65,2	66,3	67,0	68,2
Жир, %	1,27	1,23	1,29	1,21	0,92	0,66	0,60	0,49	0,33
Сахара, %	2,12	2,08	2,08	2,05	1,14	1,12	0,90	0,75	0,72
Клетчатка, %	0,49	0,43	0,37	0,33	0,26	0,22	0,22	0,21	0,18

Данные таблицы 6 свидетельствуют о четко выраженной зависимости химического состава муки от размера частиц. С уменьшением дисперсности наблюдается закономерное снижение содержания белка – от 13,25% в фракции 190 мкм до 11,11% в 40 мкм. Одновременно увеличивается доля крахмала – с 61,4% до 68,2%, что обусловлено концентрацией эндосперма в мелкодисперсных фракциях.

Содержание жира и сахаров также демонстрирует убывающую тенденцию: уровень жира снижается с 1,27% до 0,33%, а сахаров – с 2,12% до 0,72%. Эти изменения отражают уменьшение содержания зародышевых и алейроновых структур в более тонких фракциях. Клетчатка также уменьшается с 0,49% до 0,18%, что свидетельствует об очищенности мелких фракций от оболочечных частиц. Дисперсные фракции с размером частиц муки 190-125 мкм характеризуются оптимальным соотношением белка и крахмала при умеренном содержании сопутствующих веществ, что делает их наиболее пригодными для хлебопекарного применения.

Таблица 7

Химический состав дисперсных фракций муки из зерна тритикале сорта Кожа

Показатель	Размеры частицы муки, мкм								
	260	190	160	125	100	80	60	50	40
Белок, %	12,31	12,38	12,35	12,20	11,37	11,13	10,32	10,05	9,33
Крахмал, %	61,7	62,5	63,2	63,8	65,7	67,7	68,2	69,8	70,1
Жир, %	1,31	1,32	1,25	1,22	1,06	0,92	0,58	0,44	0,37
Сахара, %	2,16	2,12	2,09	2,02	1,14	0,96	0,82	0,75	0,69
Клетчатка, %	0,81	0,94	0,79	0,74	0,64	0,58	0,52	0,48	0,45

Данные таблицы 7 отражают изменение химического состава дисперсных фракций муки, полученной из зерна тритикале сорта Кожа, в зависимости от размера частиц. С уменьшением дисперсности наблюдается четко выраженное снижение содержания белка: от 12,38% в фракции 190 мкм до 9,33% в дисперсной фракции 40 мкм, что свидетельствует о смещении основного белкового компонента к более крупным фракциям. Параллельно прослеживается нарастающий тренд содержания крахмала, достигающий 70,1% в самой мелкой фракции (40 мкм), что обусловлено обогащением эндоспермом и снижением доли оболочечных структур.

Содержание жира также уменьшается от 1,32% до 0,37%, а уровень сахаров – с 2,16% до 0,69%, что может быть связано с локализацией липидно-сахарного комплекса в периферийных слоях зерна.

Клетчатка убывает от 0,94% до 0,45%, что подтверждает высокую степень очистки мелкодисперсных фракций от отрубянных включений. Наиболее сбалансированное соотношение белка, крахмала и сопутствующих компонентов наблюдается в диапазоне 190-125 мкм, что позволяет рассматривать данные фракции в качестве предпочтительных для хлебопекарного применения при условии оптимизации технологических параметров сортового помола.

В целях установления количественных взаимосвязей между химическим и технологическим составом дисперсных фракций муки проведен корреляционно-регрессионный анализ по выборке значений, относящихся к диапазону размеров частиц 125-190 мкм.

В качестве переменных использованы показатели, отражающие содержание белка (X_1) и крахмала (X_2), а также технологические характеристики муки – содержание сырой клейковины (Y_1), число падения (Y_2) и зольность (Y_3).

По результатам анализа установлены следующие уравнения линейной регрессии:

- $Y_1 = 1,2 \times X_1 + 2,5$ – взаимосвязь между содержанием белка и количеством сырой клейковины;
- $Y_2 = 10 \times X_1 - 50$ – зависимость числа падения от содержания белка;
- $Y_3 = -0,01 \times X_2 + 1$, – взаимосвязь между содержанием крахмала и зольностью муки.

Анализ полученных уравнений показал, что увеличение содержания белка в дисперсных фракциях положительно влияет на улучшение хлебопекарных параметров муки, в том числе на содержание клейковины и число падения, что указывает на снижение активности α -амилазы [15,16]. При этом рост доли крахмала в более мелкодисперсных фракциях сопровождается незначительным снижением зольности, что подтверждает преимущественную концентрацию эндосперма в этих фракциях.

Полученные зависимости позволяют прогнозировать технологические характеристики муки на основе ее химического состава и могут быть использованы при оптимизации режимов сортового помола зерна тритикале, ориентированной на получение продуктов, соответствующих требованиям хлебопекарного производства.

С целью комплексной оценки технологической пригодности муки, помимо анализа ее дисперсного состава, технологических и химических показателей, проведено исследование реологических свойств теста, приготовленного из зерна сортов тритикале. В качестве объекта детального анализа выбрана мука сорта Таза, продемонстрировавшая наиболее устойчивые и выраженные хлебопекарные свойства по совокупности ранее полученных характеристик.

Данные таблицы 8 отражают параметры реологического поведения теста из муки сорта тритикале Таза, полученные с использованием прибора Mixolab. Максимальный крутящий момент в точке С1 (1,132 Н·м) зафиксирован в начале замеса, что свидетельствует о высокой водопоглотительной способности и прочности клейковинного каркаса.

Таблица 8

Параметры реологического профиля теста и угловые коэффициенты скоростей изменений по данным Mixolab для сорта тритикале Таза

Показатель	Время, (мин)	Крутящий момент, (Н·м)	Температура теста (°C)	Амплитуда, (Н·м)	Стабильность
C1	0,83	1,132	29,0	0,063	2,00
CS	8,00	0,586	30,4		9,1
C2	18,22	0,268	59,4		
C3	24,55	1,713	79,2		
C4	35,00	1,125	76,5		
C5	45,00	1,556	55,8		
Угловые коэффициенты, Н·м/мин					
$\alpha = -0,038$ Н·м/мин		$\beta = 0,726$ Н·м/мин		$\gamma = -0,076$ Н·м/мин	

Стабильность теста составила 2,00 мин, указывая на его ограниченную устойчивость к механическим воздействиям на этапе замеса. Минимальное значение крутящего момента на этапе прогревания (C2) – 0,268 Н·м при температуре 59,4°C – демонстрирует интенсивную денатурацию белков. Пиковое значение (C3 = 1,713 Н·м) при 79,2°C свидетельствует о полноценной желатинизации крахмала. В точке C4 (1,125 Н·м) наблюдается снижение вязкости вследствие активности амилолитических ферментов, продолжающееся до C5 (1,556 Н·м) на фоне частичной ретроградации крахмала.

Анализ угловых коэффициентов показывает:

- $\alpha = -0,038$ Н·м/мин – отражает разрушение белковой структуры при нагревании;
- $\beta = 0,726$ Н·м/мин – указывает на высокую скорость набухания крахмала;
- $\gamma = -0,076$ Н·м/мин – свидетельствует об умеренной ферментативной активности.

На основании результатов, представленных в таблице 8, был сформирован реологический профиль муки из сорта тритикале Таза. На рисунках 1 и 2 приведены соответствующие миксограммы и радиальные диаграммы, отражающие кинетику и степень выраженности ключевых технологических параметров в процессе замеса и термообработки теста.

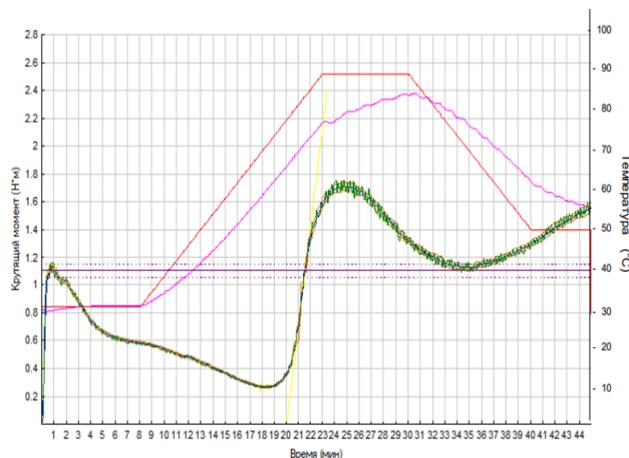


Рис. 1. Кривая миксограммы теста из муки сорта Таза, полученная с использованием прибора Mixolab

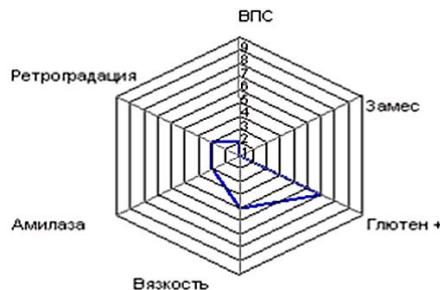


Рис. 2. Радиационная диаграмма реологических свойств теста из муки сорта Таза (Mixolab Profile Index)

Комплекс полученных данных подтверждает хорошую технологическую пригодность муки сорта Таза для хлебопекарного использования, благодаря сбалансированному взаимодействию белково-крахмальной и ферментной систем.

Сравнительный анализ структуры и качества муки сорта Азиада позволил отнести ее к категории с удовлетворительными хлебопекарными свойствами. Для уточнения технологической оценки и выявления особенностей поведения теста при механической и термической нагрузке выполнено исследование его реологических параметров на приборе Mixolab (табл. 9).

Таблица 9

Параметры реологического профиля теста и угловые коэффициенты скоростей изменений по данным Mixolab для сорта тритикале Азиада

Показатель	Время, (мин)	Крутящий момент, (Н·м)	Температура тесто (C°)	Амплитуда, (Н·м)	Стабильность
C1	1,25	1,069	30,3	0,067	3,00
CS	8,00	0,609	31,0		8,6
C2	17,73	0,287	57,3		
C3	23,97	2,021	77,7		
C4	35,85	1,111	75,2		
C5	45,05	1,414	56,0		
Угловые коэффициенты, Н·м/мин					
$\alpha = -0,040 \text{ Н}\cdot\text{м}/\text{мин}$		$\beta = 0,796 \text{ Н}\cdot\text{м}/\text{мин}$		$\gamma = -0,110 \text{ Н}\cdot\text{м}/\text{мин}$	

Таблица 9 отражает реологические параметры теста, приготовленного из муки сорта тритикале Азиада, полученные при испытаниях на приборе Mixolab. Начальный крутящий момент на этапе C1 составил 1,069 Н·м при температуре теста 30,3°C, что свидетельствует о хорошей водопоглотительной способности муки. Амплитуда замеса достигала 0,067 Н·м при стабильности 3 минуты, что указывает на удовлетворительную устойчивость теста при механическом воздействии. Минимальное значение крутящего момента на стадии разрушения клейковины (C2) зафиксировано на уровне 0,287 Н·м, отражая среднюю силу глютенового каркаса. Максимальное значение вязкости крахмала (C3) составило 2,021 Н·м, что свидетельствует о высоком уровне желатинизации. В точке C4 наблюдается частичное снижение вязкости до 1,111 Н·м, обусловленное деструкцией

крахмала. Финальное значение (C_5) – 1,414 Н·м – характеризует способность теста к ретроградации.

Расчетные угловые коэффициенты:

- $\alpha = -0,040 \text{ Н}\cdot\text{м}/\text{мин}$ – отражает интенсивность разрушения белкового каркаса при нагревании;
- $\beta = 0,796 \text{ Н}\cdot\text{м}/\text{мин}$ – характеризует скорость желатинизации крахмала;
- $\gamma = -0,110 \text{ Н}\cdot\text{м}/\text{мин}$ – указывает на темп снижения вязкости при охлаждении.

Полученные значения демонстрируют сбалансированное соотношение между амилолитической активностью, крахмальной вязкостью и структурной устойчивостью теста, что указывает на приемлемую технологическую пригодность муки сорта Азиада для хлебопекарного использования.

Учитывая пониженные показатели качества муки из сорта Кожа, полученные на предыдущих этапах анализа, особый интерес представляет исследование ее реологических характеристик, позволяющее оценить влияние дисперсного состава и функциональных компонентов на формирование тестовых структур (табл. 10).

Таблица 10

Параметры реологического профиля теста и угловые коэффициенты скоростей изменений по данным Mixolab для сорта тритикале Кожа

Показатель	Время, (мин)	Крутящий момент, (Н·м)	Температура тесто (°C)	Амплитуда, (Н·м)	Стабильность
C1	1,15	1,098	31,0	0,055	1,90
CS	8,00	0,645	31,3		8,4
C2	18,73	0,270	58,4		
C3	25,57	1,893	78,9		
C4	37,02	1,070	72,4		
C5	45,02	1,294	56,7		
Угловые коэффициенты, Н·м/мин					
$\alpha = -0,046 \text{ Н}\cdot\text{м}/\text{мин}$		$\beta = 0,620 \text{ Н}\cdot\text{м}/\text{мин}$		$\gamma = -0,098 \text{ Н}\cdot\text{м}/\text{мин}$	

Таблица 10 представляет данные реологического профиля теста из муки сорта тритикале Кожа, полученные с использованием прибора Mixolab. Начальная фаза замеса (C_1) характеризуется крутящим моментом 1,098 Н·м при температуре теста 31,0°C и амплитуде 0,055 Н·м, что отражает сравнительно низкую водопоглощающую способность. Стабильность теста составила 1,90 минуты, что указывает на ограниченную механическую устойчивость при замесе. Минимальное значение крутящего момента в точке C_2 – 0,270 Н·м, фиксируется на 18,73-й минуте при температуре 58,4°C и свидетельствует о слабой прочности клейковинного каркаса. Пик вязкости (C_3) отмечен на уровне 1,893 Н·м, что указывает на умеренную способность крахмала к набуханию и желатинизации. На этапе термодеструкции (C_4) наблюдается снижение вязкости до 1,070 Н·м. Финальное значение (C_5) – 1,294 Н·м, отражающее ретроградацию крахмала, остается ниже по сравнению с сортами Таза и Азиада.

Угловые коэффициенты:

- $\alpha = -0,046 \text{ Н}\cdot\text{м}/\text{мин}$ – скорость разрушения клейковины, более выраженная по сравнению с другими сортами;
- $\beta = 0,620 \text{ Н}\cdot\text{м}/\text{мин}$ – указывает на умеренный темп крахмальной желатинизации;

$-\gamma = -0,098 \text{ Н}\cdot\text{м}/\text{мин}$ – отражает снижение вязкости в процессе охлаждения, ассоциированное с ограниченным восстановлением структуры.

Таким образом, сорт Кожа демонстрирует менее выраженные реологические характеристики, ограничивающие его хлебопекарную пригодность без соответствующей технологической корректировки.

Заключение. Проведенный ситовой анализ муки из зерна тритикале сортов Таза, Азиада и Кожа показал, что фракции с размером частиц 125-190 мкм характеризуются повышенным содержанием белка (12,2-13,3%) и умеренным уровнем крахмала (62,3-64,5%). Это способствует формированию теста с благоприятной структурой и хорошими реологическими свойствами. Исследование реологических характеристик теста с использованием прибора Mixolab выявило, что мука данной фракции обладает высокой стабильностью при замесе и оптимальными показателями крейстеризации крахмала. Параметры крутящего момента в точках С1–С5 свидетельствуют о высокой водопоглотительной способности и устойчивости теста к механическим и термическим воздействиям, что подтверждает его пригодность для хлебопекарного производства. Установлены статистически значимые корреляционные зависимости между размером частиц муки и ее химико-технологическими свойствами. Отмечена положительная корреляция между содержанием белка и числом падения ($r = 0,85$), а также между содержанием крахмала и стабильностью теста ($r = 0,78$). Полученные зависимости позволяют прогнозировать поведение теста в процессе переработки и оптимизировать параметры технологического процесса. На основании полученных данных рекомендуется использовать фракции муки с размером частиц 125-190 мкм для производства хлебобулочных изделий, требующих высокой газоудерживающей способности и стабильности теста. Мелкие фракции (менее 125 мкм) обладают менее благоприятными технологическими характеристиками. Проведенное исследование подтвердило значительное влияние дисперсного состава муки из зерна тритикале на ее химические и технологические свойства. Определены оптимальные фракции для хлебопекарного производства, выявлены корреляционные зависимости между размером частиц и ключевыми показателями качества муки и теста, что позволяет рекомендовать направления для дальнейшей оптимизации процессов переработки тритикалевой муки.

Список литературы

1. Онгарбаева, Н.О. Сравнительный анализ и перспективы применения в мукомольной промышленности зерна тритикале казахстанской селекции [Текст] / Н.О. Онгарбаева, Е.Н. Урбанчик, А.Т. Киябаева // Техника и технология пищевых производств: материалы XVI Междунар. науч.-техн. конф. – Могилев: Белорус. гос. ун-т пищ. и хим. технологий, 2025. – С. 102-103.
2. Ghendov-Mosanu A., Popa N., Paiu S., Boestean O., Bulgari V., Leatamborg S., Lupascu G., Codină G.G. Breadmaking quality parameters of different varieties of triticale cultivars // Foods. – 2024. – Vol. 13, No. 11. – P. 1671.
3. Warechowska M., Warechowski J., Stępień A., Wojtkowiak K. Effect of the size of triticale kernel on milling energy consumption, flour yield and granulometric composition of flour // Polish Journal of Natural Sciences. – 2016. – Vol. 31, No. 3. – P. 433-444.
4. Watanabe E., Antunes K., Kitzberger C.S.G., Coelho A.R. Physico-chemical properties and milling behavior of modern triticale genotypes // LWT – Food Science and Technology. – 2019. – Vol. 101. – P. 1-7.

5. Мелешкина, Е.П. Оценка качества зерна тритикале [Текст] / Е.П. Мелешкина, И.А. Панкратьева, О.В. Политуха, Л.В. Чиркова, Н.С. Жильцова // Хлебопродукты. – 2015. – № 2. – С. 48-49.
6. Шишлова, Н.П. Характеристика хлебопекарного потенциала тритикале по результатам лабораторной печи [Текст] / Н.П. Шишлова, В.Н. Буштевич, Т.П. Шемпель [и др.] // Сельское хозяйство и селекция Беларуси. – 2017. – № 53. – С. 181-189.
7. Панкратов, Г.Н. Исследование процесса измельчения зерна тритикале [Текст] / Г.Н. Панкратов, Р.Х. Кандров, Е.В. Щербакова // Хлебопродукты. – 2016. – № 10. – С. 59-61.
8. Панкратов, Г.Н. Технологические свойства новых сортов тритикалевой муки [Текст] / Г.Н. Панкратов, Е.П. Мелешкина, Р.Х. Кандров, И.С. Витол // Хлебопродукты. – 2016. – № 1. – С. 60-62.
9. Мелешкина, Е.П. Качество зерна тритикале [Текст] / Е.П. Мелешкина, И.А. Панкратьева, О.В. Политуха, Л.В. Чиркова, Н.С. Жильцова // Хлебопродукты. – 2015. – № 7. – С. 31-32.
10. Цедик, О.Д. Химический состав новых сортов муки [Текст] / О.Д. Цедик, Л.В. Рукшан, Н.О. Онгарбаева // Техника и технология пищевых производств: материалы XVI Междунар. науч.-техн. конф. – Могилев: Белорус. гос. ун-т пищ. и хим. технологий, 2025. – С. 132-133.
11. Жанабаева, К.К. Реологические свойства теста из тритикалевой муки [Текст] / К.К. Жанабаева, Н.О. Онгарбаева, Л.В. Рукшан, А.М. Сайдов // Механика и технологии. – 2019. – № 1 (63). – С. 26-32.
12. Туляков, Д.Г. Оценка муки из зерна тритикале на основе реологических свойств с использованием системы Миксолаб [Текст] / Д.Г. Туляков, Е.П. Мелешкина, И.С. Витол, Г.Н. Панкратов, Р.Х. Кандров // Хранение и переработка сельхозсырья. – 2017. – № 1. – С. 20-23.
13. Шишлова, Н.П. Миксографический анализ теста из муки озимого тритикале [Текст] / Н.П. Шишлова // Физиология растений и генетика. – 2016. – Т. 48, № 6. – С. 488-497.
14. Урбанчик, Е.Н. Изучение комплекса хозяйствственно-ценных признаков озимой тритикале казахстанской селекции [Текст] / Е.Н. Урбанчик, А.Т. Киябаева, Н.О. Онгарбаева // Техника и технология пищевых производств: тезисы докладов XII Междунар. науч.-техн. конф. студентов и аспирантов. – Могилев: Белорус. гос. ун-т пищ. и хим. технологий, 2021. – С. 63.
15. Урбанчик Е.Н. Химический и аминокислотный состав озимой тритикале казахстанской селекции [Текст] / Е.Н. Урбанчик, Н.О. Онгарбаева, А.Т. Киябаева, М.Н. Галдова // Техника и технология пищевых производств: материалы XIV Междунар. науч.-техн. конф. – Могилев: Белорус. гос. ун-т пищ. и хим. технологий, 2022. – С. 107-108.
16. Онгарбаева Н.О. Физико-химические показатели зерна тритикале казахстанской селекции [Текст] / Н.О. Онгарбаева, А.Н. Елгонова, Ж.К. Кажикенова // Известия Национальной академии наук Республики Казахстан. Серия аграрных наук. – 2015. – № 4 (28). – С. 52-56.

Исследования выполнены в рамках проекта BR22886613 «Разработка инновационных технологий по переработке и хранению сельскохозяйственной растениеводческой продукции и сырья» (проект №9-2024/2026 «Разработка инновационной технологии хранения и переработки различных сортов тритикале в высокоэффективную продукцию зерноперерабатывающей отрасли», профинансированного Комитетом науки МНВО РК.

Материал поступил в редакцию 27.05.25, принят 18.09.25.

Н. Онгарбаева¹, А.И. Изтаев¹, А.Т. Киябаева¹,
М.А. Якияева¹, М.Д. Кенжекходжаев²

¹Алматы технологиялық университеті, Алматы қ., Қазақстан

²М.Х. Дулати атындағы Тараз университеті, Тараз қ., Қазақстан

**ТРИТИКАЛЕ ҰНЫНЫң ДИСПЕРСТІ ҚҰРАМЫНЫң
ОНЫҢ ХИМИЯЛЫҚ ҚАСИЕТТЕРІНЕ ЖӘНЕ ҚАМЫР РЕОЛОГИЯСЫНА ӘСЕРІ**

Аннотация. Мақалада Таза, Азиада және Коха сорттарынан алынған тритикале ұнының дисперстік құрамының оның химиялық-технологиялық қасиеттері мен қамырдың реологиялық сипаттамаларына әсері зерттеледі. Елеуіштік талдау нәтижесінде бөлшек өлшемі 125-190 мкм болатын фракциялар құрамында ақуыздың жоғары мөлшері (12,2-13,3%) және крахмалдың орташа деңгейі (62,3-64,5%) анықталып, бұл қамырдың қолайлы құрылымы мен жоғары технологиялық қасиеттерінің қалыптасуына ықпал етеді. Mixolab аспабымен жүргілген сынақтар қамырдың илеу кезіндегі тұрақтылығының жоғары екенін, суды сініру қабілетінің жақсы екенін және механикалық әрі термиялық әсерлерге тәзімді екенін көрсетті. Ұн бөлшектерінің өлшемі мен ақуыз мөлшері ($r = 0,85$), сондай-ақ крахмал мөлшері мен қамыр тұрақтылығы ($r = 0,78$) арасында статистикалық түрғыдан мәнді корреляциялық анықталды. Алынған нәтижелер ұнның технологиялық мінезд-құлқын болжаяуға және оны өңдеу параметрлерін оңтайландыруға мүмкіндік береді. 125-190 мкм өлшемді фракцияларды газ ұсташа қабілеті және қамыр тұрақтылығы жоғары нан өнімдерін өндіруге қолдану үсінілады.

Тірек сөздер: тритикале, ұн, дисперстік құрамы, бөлшек өлшемі, ақуыз, крахмал, реологиялық қасиеттер, Mixolab, наубайхана қасиеттері, корреляциялық талдау.

N. Ongarbayeva¹, A.I. Iztayev¹, A.T. Kiyabayeva¹,
M.A. Yakiyayeva¹, M.D. Kenzhekhojayev²

¹Almaty Technological University, Almaty, Kazakhstan

²M.Kh. Dulaty Taraz University, Taraz, Kazakhstan

**THE INFLUENCE OF THE DISPERSED COMPOSITION OF TRITICALE FLOUR
ON ITS CHEMICAL PROPERTIES AND DOUGH RHEOLOGY**

Abstract. This study investigates the effect of the particle size distribution of flour from Taza, Aziada, and Kozha triticale varieties on its chemical-technological properties and the rheological characteristics of dough. Sieve analysis revealed that flour fractions with particle sizes of 125-190 μm contain elevated protein levels (12.2-13.3%) and moderate starch content (62.3-64.5%), which contribute to the formation of dough with favorable structure and high technological performance. Tests using the Mixolab device confirmed the high dough stability during kneading, good water absorption capacity, and resistance to mechanical and thermal stresses. Statistically significant correlations were found between particle size and protein content ($r = 0.85$), as well as between starch content and dough stability ($r = 0.78$). The results allow for predicting flour behavior during processing and optimizing technological parameters. It is recommended to use 125-190 μm fractions for the production of bakery products requiring high gas retention and dough stability.

Keywords: triticale, flour, particle size distribution, particle size, protein, starch, rheological properties, Mixolab, baking quality, correlation analysis.

References

1. Ongarbaeva N.O., Urbanchik E.N., Kiyabaeva A.T. Sravnitel'nyy analiz i perspektivy primeneniya v mukomol'noy promyshlennosti zerna tritikale kazakhstanskoy selektsii [Comparative analysis and prospects of using triticale grain of Kazakhstan breeding in the flour-milling industry] // Tekhnika i tekhnologiya pishchevykh proizvodstv [Equipment and Technology of Food Production]: Proceedings of the 16th International Scientific and Technical Conference. – Mogilev: Belarusian State University of Food and Chemical Technologies, 2025. – P. 102-103. [in Russian].
2. Ghendov-Mosanu A., Popa N., Paiu S., Boestean O., Bulgaru V., Leatamborg S., Lupascu G., Codină G.G. Breadmaking quality parameters of different varieties of triticale cultivars // Foods. – 2024. – Vol. 13, No. 11. – P. 1671.
3. Warechowska M., Warechowski J., Stepien A., Wojtkowiak K. Effekt razmera zerna tritikale na energiyu pomola, vykhod muki i granulometricheskiy sostav muki // Polish Journal of Natural Sciences. – 2016. – Vol. 31, No. 3. – P. 433-444.
4. Watanabe E., Antunes K., Kitzberger C.S.G., Coelho A.R. Fiziko-khimicheskiye svoystva i povedenie pri pomole sovremennoykh genotipov tritikale // LWT – Food Science and Technology. – 2019. – Vol. 101. – P. 1-7.
5. Meleshkina E.P., Pankrat'eva I.A., Politukha O.V., Chirkova L.V., Zhil'tsova N.S. Otsenka kachestva zerna tritikale [Quality assessment of triticale grain] // // Bakery Products. – 2015. – No. 2. – P. 48-49. [in Russian].
6. Shishlova N.P., Bushtevich V.N., Shempel T.P. et al. Kharakteristika khlebopekarnogo potentsiala tritikale po rezul'tatam laboratornoy pechi [Characteristics of the baking potential of triticale based on laboratory oven tests] // Agriculture and Breeding of Belarus. – 2017. – No. 53. – P. 181-189. [in Russian].
7. Pankratov G.N., Kandrokov R.Kh., Shcherbakova E.V. Issledovaniye protsessa izmel'cheniya zerna tritikale [Study of the grinding process of triticale grain] // // Bakery Products. – 2016. – No. 10. – P. 59-61. [in Russian].
8. Pankratov G.N., Meleshkina E.P., Kandrokov R.Kh., Vitol I.S. Tekhnologicheskiye svoystva novykh sortov tritikalevoy muki [Technological properties of new varieties of triticale flour] // Bakery Products. – 2016. – No. 1. – P. 60-62. [in Russian].
9. Meleshkina E.P., Pankrat'eva I.A., Politukha O.V., Chirkova L.V., Zhil'tsova N.S. Kachestvo zerna tritikale [Quality of triticale grain] // Bakery Products. – 2015. – No. 7. – P. 31-32. [in Russian].
10. Tsedik O.D., Rukshan L.V., Ongarbaeva N.O. Khimicheskiy sostav novykh sortov muki [Chemical composition of new flour varieties] // Tekhnika i tekhnologiya pishchevykh proizvodstv [Equipment and Technology of Food Production]: Proceedings of the 16th International Scientific and Technical Conference. – Mogilev: Belarusian State University of Food and Chemical Technologies, 2025. – P. 132-133. [in Russian].
11. Zhanabaeva K.K., Ongarbaeva N.O., Rukshan L.V., Saidov A.M. Reologicheskiye svoystva testa iz tritikalevoy muki [Rheological properties of dough made from triticale flour] // Mechanics and Technologies. – 2019. – No. 1 (63). – P. 26-32. [in Russian].
12. Tulyakov D.G., Meleshkina E.P., Vitol I.S., Pankratov G.N., Kandrokov R.Kh. Otsenka muki iz zerna tritikale na osnove reologicheskikh svoystv s ispol'zovaniyem sistemy Miksolab [Evaluation of triticale flour based on rheological properties using the Mixolab system] // Storage and Processing of Agricultural Raw Materials. – 2017. – No. 1. – P. 20-23. [in Russian].
13. Shishlova N.P. Miksograficheskiy analiz testa iz muki ozimogo tritikale [Mixographic analysis of dough made from winter triticale flour] // Plant Physiology and Genetics. – 2016. – Vol. 48, No. 6. – P. 488-497. [in Russian].
14. Urbanchik E.N., Kiyabaeva A.T., Ongarbaeva N.O. Izuchenije kompleksa khozyaystvenno-tsennykh priznakov ozimoy tritikale kazakhstanskoy selektsii

- [Study of economically valuable traits of winter triticale of Kazakhstan breeding] // Tekhnika i tekhnologiya pishchevykh proizvodstv [Equipment and Technology of Food Production]: Abstracts of the 12th International Scientific Conference of Students and Postgraduates. – Mogilev: Belarusian State University of Food and Chemical Technologies, 2021. – P. 63. [in Russian].
15. Urbanchik E.N., Ongarbaeva N.O., Kiyabaeva A.T., Galdova M.N. Khimicheskiy i aminokislotnyy sostav ozimoy tritikale kazakhstanskoy selektsii [Chemical and amino acid composition of winter triticale of Kazakhstan breeding] // Tekhnika i tekhnologiya pishchevykh proizvodstv [Equipment and Technology of Food Production]: Proceedings of the 14th International Scientific and Technical Conference. – Mogilev: Belarusian State University of Food and Chemical Technologies, 2022. – P. 107-108. [in Russian].
16. Ongarbaeva N.O., Elgonova A.N., Kazhikenova Zh.K. Fiziko-khimicheskiye pokazateli zerna tritikale kazakhstanskoy selektsii [Physico-chemical indicators of triticale grain of Kazakhstan breeding] // Proceedings of the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan. Series of Agricultural Sciences. – 2015. – No. 4 (28). – P. 52-56. [in Russian].