

Влияние овсяной муки на клейстеризацию и брожение пшеничного теста

Абулханова Д.В., Фролов Д.И.

Аннотация. Исследовано влияние фракционного состава (250–180 и 180–150 мкм) и гидротермической обработки овсяной муки на клейстеризацию и брожение пшенично-овсяных смесей. Установлено, что предварительная обработка овса повышает крутящий момент суспензий чистой овсяной муки, однако снижает его пиковые значения в смесях с пшеничной. Тонкодисперсная фракция (<180 мкм) за счет повышенной концентрации крахмала обеспечила более высокий крутящий момент как в монокомпонентных суспензиях, так и в 30%-х смесях. По данным реоферментометрии, внесение овсяной муки снижало максимальную высоту подъема теста, однако предварительная гидротермическая обработка зерна частично нивелировала этот эффект. Крупная фракция (250–180 мкм) способствовала наибольшему газообразованию (CO₂). Результаты обосновывают выбор режимов модификации и помола овса для оптимизации технологии хлебобулочных изделий.

Ключевые слова: овсяная мука, клейстеризация, способность к брожению.

Для цитирования: Абулханова Д.В., Фролов Д.И. Влияние овсяной муки на клейстеризацию и брожение пшеничного теста // Инновационная техника и технология. 2026. Т. 13. № 3. С. 13–18.

Effect of oat flour on the gelatinization and fermentation of wheat dough

Abulkhanova D.V., Frolov D.I.

Abstract. The effect of particle size fraction (250–180 and 180–150 μm) and hydrothermal treatment of oat flour on the gelatinization and fermentation of wheat-oat blends was investigated. It was found that preliminary treatment of oats increases the torque of pure oat flour suspensions but reduces peak torque values in blends with wheat flour. Due to a higher starch concentration, the fine fraction (<180 μm) yielded higher torque in both single-component suspensions and 30% blends. Rheofermentometric data showed that the addition of oat flour reduced the maximum dough rise height; however, preliminary hydrothermal treatment of the grain partially mitigated this effect. The coarse fraction (250–180 μm) promoted the highest level of gas (CO₂) production. These results provide a basis for selecting oat modification and milling parameters to optimize bakery product technology.

Keywords: oat flour, pasting, fermentation capacity.

For citation: Abulkhanova D.V., Frolov D.I. Effect of oat flour on the gelatinization and fermentation of wheat dough. Innovative Machinery and Technology [Innovatsionnaya tekhnika i tekhnologiya]. 2026. Vol. 13. No. 3. pp. 13–18. (In Russ.).

Введение

Зерно овса (*Avena sativa* L.) обладает высокойнутрицевтической ценностью благодаря сбалансированному содержанию белков, ненасыщенных жирных кислот, минеральных веществ, витаминов и комплекса биологически активных соединений [1]. В отличие от большинства злаковых культур, где доминируют проламины с дефицитом лизина, белковый комплекс овса представлен преимущественно солерастворимыми глобулинами [2]. Зерно также отличается высоким содержанием токоферо-

лов (витамина Е) и витаминов группы В (тиамина, ниацина, биотина и пантотеновой кислоты) [3].

Среди традиционных злаков овес выделяется наибольшей липидной фракцией (6–11 %), до 80 % которой составляют ненасыщенные жирные кислоты с преобладанием олеиновой и линолевой. В интактном зерне эндогенные антиоксиданты (токоферолы и полифенолы) обеспечивают относительную окислительную стабильность липидного комплекса [4]. Однако нарушение целостности зерновки при переработке активирует нативные липолитические ферменты, инициирующие гидролитиче-

ский распад и последующее свободнорадикальное окисление жиров. Процессы гидролитического и окислительного прогоркания существенно снижают органолептические свойства и сроки хранения продуктов переработки овса. В связи с этим обязательным технологическим этапом подготовки зерна к помолу является гидротермическая обработка, направленная на термическую инактивацию липазы и липоксигеназы для стабилизации качества готовой продукции [5, 6].

Наряду с высокой питательной ценностью, зерно овса обладает выраженным лечебно-профилактическим потенциалом, обусловленным комплексом пищевых волокон: целлюлозы, арабиноксиланов и преимущественно смешанносвязанных (1→3), (1→4)-β-D-глюканов [7]. Доказано физиологическое действие β-глюканов на снижение уровня холестерина в сыворотке крови, нормализацию гликемического профиля и улучшение функций желудочно-кишечного тракта. Эпидемиологические данные также связывают потребление резистентных углеводов овса со снижением риска развития ряда онкологических заболеваний [8]. Важным медико-биологическим свойством овса является его безопасность для большинства пациентов с целиакией и нецелиакичной гиперчувствительностью к глютену [9]. Растущий потребительский интерес к альтернативным злаковым культурам стимулирует расширение их применения в технологиях функциональных продуктов питания [10]. В частности, хлебобулочные изделия с добавлением продуктов переработки овса характеризуются улучшенным нутриентным профилем, гармоничным ореховым привкусом и ароматом, а высокая влагоудерживающая способность компонентов зерновки овса способствует замедлению процессов черствения и пролонгации свежести изделий.

Целью настоящей работы являлась оценка клейстеризующих свойств и способности к брожению чистой овсяной муки (сырой и гидротермически обработанной) и пшенично-овсяной мучной смеси с целью определения её потенциала в качестве сырья для хлебопечения.

Объекты и методы исследований

Зерно овса и пшеничную хлебопекарную муку приобретали на локальном рынке (Россия). Пшеничную муку отбирали по критерию оптимальных клейстеризующих свойств для хлебопекарного производства. Образцы нативного (необработанного) и предварительно гидротермически обработанного зерна овса измельчали на лабораторной молотковой мельнице и рассевали на ситовом классификаторе с получением двух гранулометрических фракций: 250–180 мкм и менее 180 мкм. Содержание влаги, золы, сырого протеина и крахмала в полученных фракциях определяли по стандартным методикам ГОСТ. Массовую долю сырого жира, сахаров и

титруемую кислотность устанавливали в соответствии со стандартизированными методами.

Клейстеризующие характеристики водных суспензий чистых фракций овсяной муки, а также композитных пшенично-овсяных смесей (в соотношении 70:30 по массе) исследовали на ротационном реометре.

Кинетику газообразования и динамику подъема теста из исследуемых мучных смесей изучали с помощью реоферментометра. Тесто готовили путем смешивания 300 г мучной смеси, 2,5 % прессованных дрожжей и 2,0 % поваренной соли с расчетным количеством воды в лабораторной тестомесильной чаше до достижения стандартной консистенции 500 ЕФ (единиц фаринографа) с последующим дополнительным вымешиванием в течение 1 мин. Образец теста массой 315 г помещали в термостатируемую бродильную камеру реоферментометра под калиброванную цилиндрическую нагрузку массой 2000 г. Испытание проводили при температуре 30 °С в течение 3 ч. Регистрировали следующие параметры: Нм – максимальная высота подъема теста (мм); Т1 – время достижения максимальной высоты теста (ч); VCO₂ – суммарный объем диоксида углерода, выделившегося за 3 ч ферментации (мл); коэффициент газодерживающей способности теста (%) – доля CO₂, удержанная структурой теста относительно общего объема выделившегося газа.

Все аналитические измерения выполняли не менее чем в двукратной повторности. Результаты представлены в виде средних арифметических значений со стандартными отклонениями ($\bar{X} \pm SD$). Оценку статистической значимости различий между выборками проводили методом однофакторного дисперсионного анализа (ANOVA) при критическом уровне значимости $p < 0,05$.

Результаты и их обсуждение

Химический состав четырех фракций овсяной муки, использованных в данном исследовании,

Таблица 1 – Химическая характеристика фракций овсяной муки

Параметры	Необработанные фракции, мкм		Обработанные фракции, мкм	
	250–180	<180	250–180	<180
Влага, %	7,8	7,8	7,7	7,5
Зола, % с.м.	1	0,8	1	0,9
Белок, % с.м.	13,4	12,1	14,4	12,1
Крахмал, % с.м.	66,6	71,8	63,4	72,4
Жир, % с.м.	5,2	4,4	7,2	6,2
Сахар, % с.м.	1,2	0,7	2,3	0,9
Кислотность	12,4	11,7	3,8	4,1

представлен в таблице 1. Полученные результаты показали, что фракции овсяной муки с размерами частиц <180 мкм характеризовались более высоким содержанием крахмала благодаря присутствию внутренних частей эндосперма, богатых крахмалом. Фракции овсяной муки с размерами частиц 250–180 мкм характеризовались более высоким содержанием золы, жира и сахара по сравнению с фракциями с размерами частиц <180 мкм в результате присутствия внешних частей зерна, полученных в процессе помола. Заметно, что кислотность значительно снизилась во фракциях овсяной муки, которые были гидротермически предварительно обработаны, независимо от размеров частиц овсяной муки.

Все исследованные образцы, содержащие овёс, с точки зрения клейстеризующих свойств, продемонстрировали более высокий максимальный крутящий момент по сравнению с контрольным образцом пшеничной муки (таблица 2). Увеличение крутящего момента может быть результатом более низкой амилазной активности в овсяной муке, что улучшает клейстеризующие характеристики исследованных суспензий. Использование гидротермической предварительной обработки повлияло на увеличение максимального крутящего момента суспензий, содержащих чистую овсяную муку. Однако противоположный эффект наблюдался с гидротермически обработанными пшенично-овсяными смесями. Независимо от применения предварительной обработки, суспензии, приготовленные из мучных смесей, содержащих более тонкую фракцию овсяной муки (<180 мкм), более высокое значение максимального крутящего момента, чем суспензии из более крупных частиц овсяной муки (250–180 мкм). Та же тенденция наблюдалась для суспензий, приготовленных из чистых фракций овсяной муки. Это увеличение значения максимального крутящего момента может быть объяснено более высоким содержанием крахмала во фракциях овсяной муки <180 мкм, чем в частицах 250–180 мкм. Более того, предварительная обработка может влиять на предварительную клейстеризацию крахмала и, таким образом, увеличивать максимальный крутящий момент исследованных суспензий.

Результаты, описывающие характеристики брожения проанализированных образцов теста, обобщены в таблице 3. В целом, все образцы теста, содержащие овёс, продемонстрировали уменьшение максимальной высоты теста (Hm) по сравнению с контрольным пшеничным тестом. Более того, образцы теста, содержащие гидротермически предварительно обработанную овсяную муку, показали более высокие значения Hm, чем тесто из необработанной овсяной муки. Это уменьшение может привести к хлебобулочному продукту меньшего объёма по сравнению с продуктом из чистой пшеничной муки.

Также очевидно, что это уменьшение менее выражено для теста, содержащего термически

Таблица 2 – Клейстеризующие свойства исследованных суспензий

Образцы	Размеры частиц, мкм	Предварительная обработка	Крутящий момент М, мН·м
Контроль	–	–	6587 ± 14,14
Овсяная мука	<180	Н	16915 ± 21,21
Овсяная мука	<180	Д	22600 ± 141,4
Овсяная мука	250–180	Н	14440 ± 141,4
Овсяная мука	250–180	Д	22545 ± 205,1
Смесь	<180	Н	13455 ± 120,2
Смесь	<180	Д	10900 ± 127,3
Смесь	250–180	Н	12385 ± 106,1
Смесь	250–180	Д	10685 ± 148,5

обработанную овсяную муку, чем для необработанной, независимо от фракции размеров частиц муки. Тесто, содержащее необработанную овсяную муку, продемонстрировало уменьшение значений T1, тогда как время, необходимое для достижения максимальной высоты теста, было примерно на том же уровне для теста из термически обработанной овсяной муки, что и для контрольного теста. Следовательно, тесто, приготовленное с нетермически обработанной овсяной мукой, должно иметь более короткое время брожения.

Общий объём CO₂, произведённого во время брожения, был выше в тесте, приготовленном из предварительно обработанной овсяной муки, по сравнению с необработанной, вероятно, из-за декстринизации крахмала во время гидротермической обработки. Более того, очевидно, что более высокое содержание сахара было определено в предварительно обработанных образцах муки, чем в необработанных (таблица 1). Также очевидно, что более грубая фракция овсяной муки (250–180 мкм) имела более высокое общее содержание сахара по сравнению с более тонкой фракцией (<180 мкм), что, соответственно, отразилось в более высоком общем объёме CO₂, произведённого во время брожения, и увеличении максимальной высоты теста (таблица 3). Однако коэффициенты удержания газа не следовали за процессом газообразования, будучи ниже для теста, содержащего предварительно обработанную овсяную муку. Это наблюдение может быть связано с влиянием тепловой обработки на белковый комплекс овса, делая его более жёстким и менее растяжимым.

Полученные результаты согласуются с данными ранее опубликованных исследований о влиянии овсяной муки на технологические свойства пшеничного теста. Установлено, что все исследованные образцы, содержащие овёс, продемонстрировали более высокий максимальный крутящий момент по сравнению с контрольным образцом пшеничной

Таблица 3 – Характеристики брожения исследованных видов теста

Образцы	Кривая развития теста		Кривая выделения газа	
	Hm, мм	T1, ч	VCO ₂ , мл	Коэффициент удержания газа, %
Пшеничная мука	46,4	2,18	1449	54,1
Смесь пшеничной муки и овсяной муки <180 мкм	32,4	1,28	1207	56,4
Смесь пшеничной муки и овсяной муки 250–150 мкм	33	1,18	1261	54,3
Смесь пшеничной муки и предварительно обработанной овсяной муки <180 мкм	35,8	2,3	1235	53,8
Смесь пшеничной муки и предварительно обработанной овсяной муки 250–150 мкм	35,5	2,16	1287	53,5

муки, что может быть результатом более низкой амилазной активности в овсяной муке. Это указывает на потенциальную возможность использования овсяной муки при переработке пшеничной муки с повышенной амилазной активностью.

Выявленное противоположное влияние гидротермической предварительной обработки на максимальный крутящий момент чистой овсяной муки и пшенично-овсяных смесей объясняется, по-видимому, различиями в степени предварительной клейстеризации крахмала и взаимодействием компонентов овса с белково-крахмальным комплексом пшеничной муки. В чистых фракциях овсяной муки предварительная обработка способствует предварительной клейстеризации крахмала и увеличению крутящего момента, тогда как в смесях с пшеничной мукой этот эффект нивелируется конкуренцией за воду и изменением реологических свойств системы.

Установленное увеличение максимального крутящего момента для суспензий с более тонкой фракцией овсяной муки (<180 мкм) обусловлено более высоким содержанием крахмала в этой фракции, что подтверждается данными химического анализа (таблица 1) и согласуется с известными представлениями о распределении крахмала в анатомических частях овсяного зерна.

В отношении характеристик брожения выявлено, что все образцы теста, содержащие овёс, продемонстрировали уменьшение максимальной высоты теста по сравнению с контрольным пшеничным тестом, что может привести к хлебобулочному продукту меньшего объёма. При этом тесто, содержащее гидротермически предварительно обработанную овсяную муку, показало более высокие значения Hm, чем тесто из необработанной овсяной муки, что связано с инактивацией липолитических ферментов и частичной декстринизацией крахмала при тепловой обработке. Более высокое содержание сахара в предварительно обработанных образцах муки и в более грубой фракции (250–180 мкм) обуславливает более высокий общий объём CO₂, произведённого во время брожения, что согласуется с данными, полученными для других видов нетрадиционного растительного сырья.

Следует отметить, что коэффициенты удержания газа не следовали за процессом газообразования, будучи ниже для теста, содержащего предварительно обработанную овсяную муку. Это может быть связано с влиянием тепловой обработки на белковый комплекс овса, делая его более жёстким и менее растяжимым, что ограничивает способность теста удерживать диоксид углерода. Полученные данные согласуются с известными представлениями о роли белкового каркаса в формировании газоудерживающей способности теста.

Таким образом, результаты проведённого исследования развивают существующие представления о влиянии фракционного состава и гидротермической обработки овсяной муки на клейстеризующие свойства и способность к брожению пшенично-овсяных смесей и подтверждают перспективность применения овсяной муки в хлебопечении.

Выводы

Согласно полученным результатам, можно заключить, что суспензии, приготовленные из чистой овсяной муки, а также из овсяно-пшеничных мучных смесей, продемонстрировали более высокие значения максимального крутящего момента по сравнению с образцами пшеничной муки. Использование предварительной обработки овса повлияло на снижение значений максимального крутящего момента при клейстеризующих измерениях в суспензиях овсяно-мучных смесей по сравнению с суспензиями, содержащими необработанные овсяно-пшеничные смеси. Что касается характеристик брожения, тесто, содержащее предварительно обработанную овсяную муку, показало более высокое максимальное развитие, достигнутое тестом, чем тесто из необработанной овсяной муки. Более того, образцы теста, содержащие более грубые фракции овсяной муки (250–180 мкм), показали более высокое значение общего объёма CO₂, произведённого во время брожения, по сравнению с тестом, содержащим более тонкие фракции овсяной муки (<180 мкм), независимо от предварительной обработки. Следовательно, овсяная мука может использовать

ся в особых случаях переработки пшеничной муки, например, при переработке пшеничной муки с высокой амилазной активностью, с учётом других параметров качества теста, на которые влияет добавление овсяной муки. Применение предварительной

обработки овсяной муки может быть выбрано на основании ожидаемой конечной цели: более высокий максимальный крутящий момент или более короткое время брожения.

Литература

- [1] Устинова Ю. В. и др. Разработка рецептуры и качественных характеристик продуктов питания на основе злаков //Вестник Воронежского государственного университета инженерных технологий. – 2022. – Т. 84. – №. 1 (91). – С. 43-48.
- [2] Каширских Е. В., Бабич О. О., Кригер О. В. Анализ физико-химического и биохимического состава зерен овса посевного *avena sativa* //Инновации в пищевой биотехнологии. – 2019. – С. 474-476.
- [3] Полонский В. И., Лоскутов И. Г., Сумина А. В. Селекция на содержание антиоксидантов в зерне как перспективное направление для получения продуктов здорового питания //Вавиловский журнал генетики и селекции. – 2018. – Т. 22. – №. 3. – С. 343-352.
- [4] Сорокина И. В. и др. Роль фенольных антиоксидантов в повышении устойчивости органических систем к свободно-радикальному окислению //Экология. Серия аналитических обзоров мировой литературы. – 1997. – №. 46. – С. 3-58.
- [5] Хамдамова Ч. Х., Ахмедов А. Н., Суннатова С. Ф. Анализ и значения гидротермической переработки зерна перед дроблением и исследования // Universum: технические науки. – 2022. – №. 3-4 (96). – С. 52-55.
- [6] Михайлова О. В., Коробков А. Н. Изучение технологических операций подготовки зерна к помолу //Вестник НГИЭИ. – 2011. – Т. 2. – №. 4 (5). – С. 20-26.
- [7] Loskutov I. G., Polonskiy V. I. Content of β -glucans in oat grain as a perspective direction of breeding for health products and fodder //Agricultural biology. – 2017. – Т. 52. – №. 4. – С. 646-657.
- [8] Slavin J. L. Mechanisms for the impact of whole grain foods on cancer risk //Journal of the American College of Nutrition. – 2000. – Т. 19. – №. sup3. – С. 300S-307S.
- [9] Вохмянина Н. В., Гаврилюк И. П. Взаимосвязь иммуногенности разных сортов овсов у детей больных целиакией с расширением безглютеновой диеты //Педиатр. – 2013. – Т. 4. – №. 3. – С. 52-55.
- [10] Родионова Н. С. и др. Перспективы применения зернобобовых в инновационных технологиях функциональных продуктов питания //Вестник Воронежского государственного университета инженерных технологий. – 2020. – Т. 82. – №. 3 (85). – С. 153-163.

References

- [1] Ustinova Yu. V. et al. Development of formulations and quality characteristics of cereal-based food products // Bulletin of Voronezh State University of Engineering Technologies. – 2022. – Vol. 84. – No. 1 (91). – P. 43-48.
- [2] Kashirskikh E. V., Babich O. O., Kriger O. V. Analysis of the physicochemical and biochemical composition of *Avena sativa* (common oat) grains // Innovations in Food Biotechnology. – 2019. – P. 474-476.
- [3] Polonsky V. I., Loskutov I. G., Sumina A. V. Breeding for antioxidant content in grain as a promising direction for producing healthy food products // Vavilov Journal of Genetics and Breeding. – 2018. – Vol. 22. – No. 3. – P. 343-352.
- [4] Sorokina I. V. et al. The role of phenolic antioxidants in enhancing the resistance of organic systems to free-radical oxidation // Ecology: Series of Analytical Reviews of World Literature. – 1997. – No. 46. – P. 3-58.
- [5] Khamdamova Ch. Kh., Akhmedov A. N., Sunnatova S. F. Analysis and significance of hydrothermal grain processing prior to crushing // Universum: Technical Sciences. – 2022. – No. 3-4 (96). – P. 52-55.
- [6] Mikhailova O. V., Korobkov A. N. Study of technological operations for grain preparation prior to milling // Bulletin of NGIEI. – 2011. – Vol. 2. – No. 4 (5). – P. 20-26.
- [7] Loskutov I. G., Polonskiy V. I. Content of β -glucans in oat grain as a perspective direction of breeding for health products and fodder // Agricultural Biology. – 2017. – Vol. 52. – No. 4. – P. 646-657.
- [8] Slavin J. L. Mechanisms for the impact of whole grain foods on cancer risk // Journal of the American College of Nutrition. – 2000. – Vol. 19. – No. sup3. – P. 300S-307S.
- [9] Vokhmyanina N. V., Gavriluk I. P. Relationship between the immunogenicity of different oat varieties in children with celiac disease and the expansion of the gluten-free diet // Pediatr. – 2013. – Vol. 4. – No. 3. – P. 52-55.
- [10] Rodionova N. S. et al. Prospects for the use of grain legumes in innovative technologies for functional food products // Proceedings of the Voronezh State University of Engineering Technologies. – 2020. – Vol. 82. – No. 3 (85). – P. 153-163.

Сведения об авторах

Information about the authors

Абулханова Дина Витальевна магистрант кафедры «Пищевые производства» ФГБОУ ВО «Пензенский государственный технологический университет» 440039, г. Пенза, проезд Байдукова/ул. Гагарина, 1а/11 E-mail:	Abulkhanova Dina Vitalievna undergraduate of the department «Food productions» Penza State Technological University E-mail:
Фролов Дмитрий Иванович кандидат технических наук доцент кафедры «Пищевые производства» ФГБОУ ВО «Пензенский государственный технологический университет» 440039, г. Пенза, проезд Байдукова/ул. Гагарина, 1а/11 Тел.: +7(937) 408-35-28 E-mail: surr@bk.ru	Frolov Dmitriy Ivanovich PhD in Technical Sciences associate professor at the department of «Food productions» Penza State Technological University Phone: +7(937) 408-35-28 E-mail: surr@bk.ru