

Влияние льняного жмыха на реологические свойства теста и качество хлеба

Казанский национальный
исследовательский технологический
университет, г. Казань, Российская
Федерация

А.В. Маслов, З.Ш. Мингалеева

КОРРЕСПОНДЕНЦИЯ:

Александр Васильевич Маслов

E-mail: MaslovAV@corp.knrtu.ru

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ:

Маслов, А.В., & Мингалеева, З.Ш. (2025).

Влияние льняного жмыха на реологические свойства теста и качество хлеба. *Хранение и переработка сельхозсырья*, 33(3), 204-224.

<https://doi.org/10.36107/spfr.2025.3.671>

ПОСТУПИЛА: 12.04.2025

ПРИНЯТА: 15.09.2025

ОПУБЛИКОВАНА: 30.09.2025

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ:

авторы сообщают об отсутствии конфликта интересов.



АННОТАЦИЯ

Введение: Современная пищевая промышленность фокусируется на поиске функциональных ингредиентов для повышения пищевой ценности продуктов. В этом отношении льняной жмых, богатый белком, полиненасыщенными жирными кислотами и клетчаткой, представляет значительный интерес. Однако его влияние на реологические свойства теста и качество хлеба изучено недостаточно. Анализ влияния льняного жмыха на клейстеризацию крахмала, замес и брожение теста представляет научный интерес. Неясно, как различные концентрации этого ингредиента воздействуют на процессы тестоприготовления и взаимодействуют с компонентами муки. Отсутствие таких данных затрудняет научное обоснование оптимальной концентрации льняного жмыха для улучшения качества хлеба.

Цель: Изучить влияние льняного жмыха на кинетику клейстеризации крахмала и водопоглотительную способность муки, реологические свойства пшеничного теста во время замеса, динамику газообразования, изменение структурно-механических свойств теста во время брожения и характеристики качества хлеба для оптимизации рецептуры; разработать научно обоснованные рекомендации по использованию льняного жмыха в хлебопекарной промышленности и для создания функциональных продуктов питания.

Материалы и методы: В качестве объектов исследования были выбраны мука пшеничная высшего сорта и льняной жмых. Льняной жмых вносили вместо пшеничной муки высшего сорта в концентрациях 3, 8 и 13 % взамен муки. Кинетику клейстеризации крахмала изучали с использованием прибора Amylograph-E, водопоглотительную способность муки и реологические характеристики теста определяли с помощью Farinograph-AT, динамику газообразования и изменение структурно-механических свойств теста во время брожения посредством Rheo F4. Хлебобулочные изделия готовили безопарным способом, результаты анализировали по общепринятым стандартным методикам.

Результаты: Внесение льняного жмыха в диапазоне концентраций 6,92–8,57 % увеличило водопоглотительную способность муки на 7,5–9,9 %, устойчивость теста – на 86,5–91,6 %, сократило время достижения максимального подъема теста на 30,4–37,5 %. Образцы с дозировкой исследуемого рецептурного компонента 8 % имели наилучшие органолептические и физико-химические характеристики: пористость мякиша увеличилась на 13,5 %, а общий балл качества – на 7,5 % по сравнению с контролем.

Выводы: Результаты исследования показывают целесообразность внесения льняного жмыха в рецептуру пшеничного хлеба для улучшения реологических свойств теста и потребительских характеристик готовой продукции. Полученные данные представляют практическую ценность для хлебопекарных предприятий. К ограничениям исследования относятся использование льняного жмыха одной фракции и проведение экспериментов в лабораторных условиях, эти факторы могут повлиять на воспроизводимость результатов в промышленных масштабах.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА

лен; жмых; реология теста; функциональные продукты; фаринограф; реоферментометр; амилограф

Effect of Flaxseed Meal on Dough Rheological Properties and Bread Quality

Kazan National Research Technological University, Kazan, Russian Federation

Alexander V. Maslov, Zamira Sh. Mingaleeva

CORRESPONDENCE:

Alexander V. Maslov

E-mail: MaslovAV@corp.knrtu.ru

FOR CITATIONS:

Maslov, A.V., & Mingaleeva, Z.Sh. (2025). Effect of flaxseed meal on dough rheological properties and bread quality. *Storage and Processing of Farm Products*, 33(3), 204-224. <https://doi.org/10.36107/spfp.2025.3.671>

RECEIVED: 12.04.2025

ACCEPTED: 15.09.2025

PUBLISHED: 30.09.2025

DECLARATION OF COMPETING

INTEREST: none declared.



ABSTRACT

Introduction: Modern trends in the food industry are focused on the search for functional ingredients to enhance the nutritional value of products. In this regard, flaxseed meal, rich in protein, polyunsaturated fatty acids, and dietary fiber, is of significant interest. However, its impact on the rheological properties of dough and bread quality remains insufficiently studied. Analyzing the effect of flaxseed meal on starch gelatinization, dough mixing, and fermentation is of scientific interest. It remains unclear how different concentrations of this additive influence dough preparation processes and interact with flour components. The lack of such data makes it difficult to scientifically justify the optimal concentration of flaxseed meal for improving bread quality.

Purpose: To investigate the effect of flaxseed meal on starch gelatinization kinetics and flour water absorption capacity, the rheological properties of wheat dough during kneading, gas formation dynamics, changes in the structural-mechanical properties of dough during fermentation, and bread quality characteristics. The goal is to optimize the formulation, develop scientifically based recommendations for the use of flaxseed meal in the baking industry, and create functional food products.

Materials and Methods: The study used premium wheat flour and flaxseed meal as research materials. Flaxseed meal was incorporated into the formulation by replacing premium-grade wheat flour at levels of 3, 8, and 13%. Starch gelatinization kinetics were analyzed using an Amylograph-E, while flour water absorption capacity and dough rheological properties were determined using a Farinograph-AT. Gas formation dynamics and changes in the structural-mechanical properties of dough during fermentation were assessed using a Rheo F4. Bread products were prepared using a straight-dough method and analyzed according to standard methodologies.

Results: The incorporation of flaxseed meal within the concentration range of 6.92–8.57% increased the water absorption capacity of the flour by 7.5–9.9% and the dough stability by 86.5–91.6%, while reducing the time to reach the maximum dough rise by 30.4–37.5%. Samples with an 8% dosage of the studied recipe component demonstrated the best organoleptic and physicochemical characteristics: crumb porosity increased by 13.5%, and the total quality score increased by 7.5% compared to the control.

Conclusion: The study findings recommend incorporating 8% flaxseed meal into wheat bread formulations to enhance its nutritional value and improve consumer characteristics. The obtained data are of practical relevance for bakery enterprises. A limitation of the study is the use of flaxseed meal from a single fraction and laboratory-scale experiments, which may affect the reproducibility of results in industrial-scale production.

KEYWORDS

flax; meal; dough rheology; functional foods; farinograph; rheofermentometer; amylograph

ВВЕДЕНИЕ

Современная пищевая промышленность фокусируется на поиске функциональных ингредиентов, способных обогатить состав пищевых продуктов ценными нутриентами и улучшить их потребительские свойства (Маслов с соавт., 2023). Одним из таких перспективных компонентов является льняное семя — ценный источник питательных веществ и функциональных компонентов, оно содержит большое количество витаминов, минералов, белков, жиров, клетчатки и лигнанов (Petraaru et al., 2025; Поморова с соавт., 2023). Интерес к его использованию в пищевой промышленности растет как среди потребителей, уделяющих внимание здоровому питанию, так и среди производителей продуктов (Mekky et al., 2022; Мижева с соавт., 2024). В качестве потенциально ценного пищевого ингредиента значительный научный и практический интерес представляет льняной жмых, являющийся побочным продуктом переработки семян льна при производстве льняного масла методом холодного прессования (Talwar et al., 2025; Бекболатова с соавт., 2024). Высокая биологическая ценность жмыха обусловлена содержанием полноценного белка, α -линоленовой кислоты, фенольных соединений и пищевых волокон (Niyonshuti et al., 2024; Vichare et al., 2024).

Льняной жмых применяется в производстве разнообразных продуктов питания: от хлебобулочных и крупяных изделий до снеков и функциональных напитков (Talwar et al., 2025; Puppel et al., 2023). Ряд исследований посвящен использованию льняной муки и жмыха в производстве продуктов питания на основе пшеничной муки. Показано, что льняной жмых возможно применять при производстве овсяного печенья в количестве 30 % взамен маргарина в рецептуре (Шанина, 2023). При производстве пшеничного хлеба для получения готовой продукции хорошего качества рекомендовано вносить в тесто льняной жмых в количестве 5 % (Бекболатова с соавт., 2024), льняную муку — от 5 % до 8 % (Ревякина с соавт., 2023; Вихрова, 2024; Кандроков с соавт., 2024). Зарубежные исследователи подтвердили возможность оптимизации рецептуры функционального хлеба, обогащенного омега-3 полиненасыщенными жирными кислотами за счет введения 10 % льняной муки (Makowska et al., 2023).

Вместе с тем большинство работ сосредоточено на оценке пищевой ценности льняного жмыха и его влиянии на качество готовых изделий (Sanmartin et al., 2025), тогда как его технологическое воздействие на свойства теста на всех этапах производства хлебобулочных изделий остается малоизученным. Наиболее длительной и ответственной стадией производства хлеба, в ходе которой формируются структура мякиша, вкус и аромат готовых изделий, является брожение теста, вызываемое дрожжами. При этом существующие данные о влиянии льняного жмыха на свойства теста носят фрагментарный характер: с одной стороны, отмечается улучшение его водопоглотительной способности за счет высокого содержания пищевых волокон (Jiang et al., 2023) и укрепление теста благодаря наличию белков и гидроколлоидов (Logarušić et al., 2020), с другой — пищевые волокна, фенольные соединения и ингибиторы ферментов льняного жмыха могут замедлять брожение, влияя на активность дрожжевой микрофлоры и ферментов муки (Grinvald et al., 2024). Пищевые волокна также могут снижать высоту подъема теста из-за негативного влияния на его газодерживающую способность (Xu et al., 2021; Ma et al., 2021). Поэтому особую важность представляет изучение баланса между положительным влиянием компонентов жмыха и возможным негативным эффектом, связанным со снижением содержания клейковины и изменением крахмальной фракции в муке.

Кроме того, отсутствуют системные исследования, связывающие дозировку льняного жмыха с изменением реологических параметров теста на разных этапах его приготовления, включая клейстеризацию крахмала муки при нагревании и динамику газообразования при брожении. В частности, неясно, как взаимодействие компонентов жмыха с крахмалом и белками муки влияет на формирование структурного каркаса теста, его газодерживающую способность и, как следствие, на объем и пористость готовых изделий.

Системный анализ этих взаимосвязей имеет научное и практическое значение, поскольку позволит оптимизировать рецептуру и разработать научно обоснованные рекомендации по использованию льняного жмыха в хлебопекарной промышленности для создания функциональных продуктов питания. Целью исследования было изучение влияния льняного жмыха на кинетику клейстеризации

крахмала и водопоглотительную способность муки, реологические свойства пшеничного теста во время замеса, динамику газообразования, изменение структурно-механических свойств теста в процессе брожения и характеристики качества хлеба.

Гипотеза исследования состояла в том, что внесение льняного жмыха в муку окажет комплексное модифицирующее воздействие на технологический процесс. Ожидалось, что компоненты жмыха окажут влияние на кинетику клейстеризации крахмала и водопоглотительную способность муки, что в свою очередь повлияет на структурно-механические свойства теста и динамику брожения. При этом предполагалось, что в оптимально подобранных концентрациях льняной жмых сможет улучшать качественные характеристики готовых изделий. Проверка данных предположений позволит расширить фундаментальные представления о технологических свойствах льняного жмыха и обосновать перспективы его практического применения в хлебопекарной промышленности в качестве функционального ингредиента.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Сырье

Исследование проводили с использованием пшеничной муки высшего сорта, соответствующей требованиям ГОСТ 26574-2017¹ (число падения — 365 ± 7 с, содержание сырой клейковины — $29,2 \pm 0,9\%$, качество сырой клейковины — $67,5 \pm 0,6$ ед. приб ИДК-3М), прессованных дрожжей «Люкс Экстра» — ТУ 9182-038-48975583-2011, соли пищевой — ГОСТ Р 51574-2018² и воды питьевой — СанПиН 1.2.3685-21.³ Льняной жмых коммерческого производства (ООО «Казанское», Сернурский район, Республика Марий Эл, Россия) механически измельчали и просеивали через лабораторное сито с диаметром ячеек 0,56 мм. Льняной жмых вносили в пшеничную муку высшего со-

рта в концентрациях 3%, 8% и 13% взамен муки. Данные концентрации льняного жмыха подбирали на основании анализа литературных данных, включая как рекомендуемые (5–10%), так и пограничные значения (Бекболатова с соавт., 2024; Makowska et al., 2023; Wirkijowska, A. et al., 2020). Такой диапазон позволяет оценить дозозависимый эффект и технологические пределы применения исследуемого ингредиента.

Кинетика клейстеризации крахмала

Кинетику клейстеризации крахмала изучали методом амилографии с использованием прибора Amylograph-E (Brabender, Германия) в соответствии со стандартом ГОСТ ISO 7973-2013.⁴ Для испытаний готовили водно-мучную суспензию, состоящую из 80,0 г исследуемой муки, приведенной к базисной влажности 14%, и 450,0 мл дистиллированной воды. Процесс клейстеризации проводили при программируемом нагреве суспензии со скоростью $1,5$ °C/мин в диапазоне температур от 30 °C до 95 °C. В ходе исследования непрерывно регистрировали температуру водно-мучной суспензии и ее вязкость, что позволило определить температуру начала клейстеризации (T_H , °C), максимальную вязкость (V , AU) и температуру полной клейстеризации крахмала (T_K , °C).

Определение водопоглотительной способности и реологических свойств теста в процессе замеса

Водопоглотительную способность муки и реологические характеристики теста определяли на приборе Farinograph-AT (Brabender, Германия) в соответствии с ГОСТ ISO 5530-1-2013⁵. Для испытаний использовали навеску муки массой 300 г, приведенную к базисной влажности 14%. Воду добавляли порционно до достижения максимальной консистенции теста, соответствующей 480–520

¹ ГОСТ 26574-2017. (2018). Мука пшеничная хлебопекарная. Технические условия. М.: Стандартинформ.

² ГОСТ Р 51574-2018. (2018). Соль пищевая. Общие технические условия. М.: Стандартинформ.

³ СанПиН 1.2.3685-21. (2021). Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания.

⁴ ГОСТ ISO 7973-2013. (2019). Зерно и зернопродукты. Определение вязкости с применением амилографа. М.: Стандартинформ.

⁵ ГОСТ ISO 5530-1-2013. (2019). Мука пшеничная. Физические характеристики теста. Часть 1. Определение водопоглощения и реологических свойств с применением фаринографа. М.: Стандартинформ.

единицам фаринографа (FU). В ходе исследования регистрировали следующие параметры: водопоглотительную способность муки (VA, %), время образования теста (DDT, мин), устойчивость теста (S, мин), степень разжижения теста через 10 мин после старта (DS, FE) и через 12 мин после максимума консистенции (DS_{ICC}, FE), число качества (FQN, мм).

Определение динамики газообразования и изменение структурно-механических свойств теста во время брожения

Динамику газообразования и изменение структурно-механических свойств теста во время брожения определяли с использованием реоферментометра Rheo F4 (Chopin Technologies, Франция) согласно стандарту ААСС 89-01.⁶ Тестовые полуфабрикаты замешивали 5 мин в месильной камере фаринографа согласно рецептурам, представленным в Таблице 1. Количество вносимой воды на 100 г муки рассчитывали по формуле:

$$m_{\text{в}} = \text{ВПС} - m_{\text{соль}} - m_{\text{дрожжи}}$$

где $m_{\text{в}}$ — масса вносимой воды на 100 г муки, г;
ВПС — водопоглотительная способность муки, определенная на фаринографе, %;
 $m_{\text{соль}}$ — масса воды для растворения пищевой соли на 100 г муки, г;
 $m_{\text{дрожжи}}$ — масса воды для суспензирования прессованных дрожжей на 100 г муки, г.

После замеса 315 г теста помещали в камеру реоферментометра, сверху тесто придавливали грузом

массой 2000 г. В камере поддерживалась температура 28,5 °С. Время анализа составляло 180 мин. Регистрировали следующие показатели: максимальную высоту подъема теста под нагрузкой (H_m , мм); максимальную высоту подъема теста, соответствующую максимальному объему (H'_m , мм); высоту подъема теста в конце исследования (h , мм); продолжительность брожения до достижения максимальной высоты подъема (T_1 , мин) и максимального объема (T'_1 , мин); продолжительность брожения для образования пор в тесте (T_x , мин); объем потерянного (V_1 , мл) и удержанного (V_2 , мл) углекислого газа; коэффициент газоудержания ($V_1 \cdot 100 / (V_1 + V_2)$, %).

Выпечка изделий

После анализа на приборе Rheo F4 тестовые полуфабрикаты формовали и помещали в стандартные хлебопекарные формы типа Л11. Процесс расстойки осуществляли в программируемой расстойной камере при следующих условиях: температура — 35 °С, относительная влажность — 75 %, продолжительность — 45 мин. Выпечку проводили в лабораторной печи при температуре 180 °С в течение 35 мин с начальным пароувлажнением. После выпечки изделия охлаждали до 25 °С, упаковывали в полиэтиленовые пакеты и хранили 24 ч до проведения анализа.

Таблица 1

Рецептуры теста

Table 1

Dough Formulations

Наименование сырья	Контроль	Концентрация льняного жмыха, %		
		3	8	13
Мука пшеничная высшего сорта, г	250	242,5	230	217,5
Льняной жмых, г	0	7,5	20	32,5
Дрожжи прессованные, г	7	7	7	7
Соль пищевая, г	5	5	5	5
Вода, г	по расчету	по расчету	по расчету	по расчету

⁶ American Association of Cereal Chemists (AACC) International. (2009). Approved Methods of Analysis, (10th ed.). American Association of Cereal Chemists.

Анализ качества готовых хлебобулочных изделий

Органолептический анализ проводили по 10-балльной системе с учетом весовых коэффициентов: формы — 0,4; окраски корок — 0,4; цвета мякиша — 0,2; характера пористости — 0,2; эластичности мякиша — 0,8; аромата — 0,7; вкуса — 0,7; разжевываемости мякиша — 0,6. Средний балл рассчитывали по формуле:

$$СБ = \frac{\sum_{i=1}^n K_i \cdot B_i}{\sum_{i=1}^n K_i},$$

где K_i — коэффициент весомости;
 B_i — количество баллов (от 1 до 10).

Для анализа физико-химических показателей готовых изделий были применены следующие методики: влажность устанавливали термовлагодетрическим методом по ГОСТ 21094-2022⁷, пористость — объемно-гравиметрическим методом по ГОСТ 5669-96⁸.

Статистический анализ

Все исследования проводили в трехкратной повторности. Статистически значимые различия между группами определяли с помощью однофакторного дисперсионного анализа (ANOVA) с последующим применением критерия множественных сравнений Тьюки при уровне значимости $p \leq 0,05$. Для оценки взаимосвязей между параметрами качества теста и хлеба проведен корреляционный анализ с вычислением коэффициентов корреляции Пирсона (r). Анализ выполняли с использованием программного обеспечения Statistica 13.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Влияние льняного жмыха на кинетику клейстеризации крахмала в водно-мучной суспензии

Кинетику клейстеризации крахмала муки изучали путем нагревания водно-мучной суспензии со скоростью 1,5 °С/мин. Такая скорость нагрева соответствует скорости прогревания тестовой заготовки при выпечке хлеба. В процессе нагрева непрерывно регистрировалась вязкость водно-мучной суспензии в виде графика амилограммы. На Рисунке 1 представлены амилограммы пшеничной муки высшего сорта с внесением льняного жмыха. Как видно из графиков, в процессе нагревания происходит повышение вязкости, при этом наблюдаются небольшой скачок вязкости на 22–24 мин нагрева и один выраженный экстремум на 39–41 мин эксперимента.

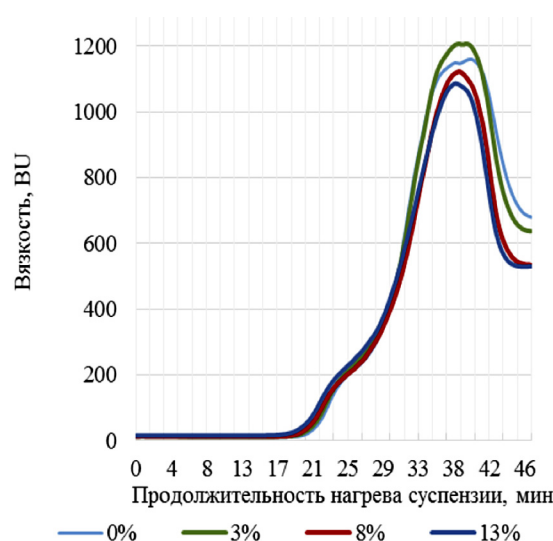
Анализируя изменение вязкости водно-мучной суспензии в процессе нагрева, можно установить температуру начала клейстеризации крахмала муки,

Рисунок 1

Влияние льняного жмыха на амилограммы водно-мучной суспензии пшеничной муки

Figure 1

Effect of Flaxseed Meal on Amylograms of Wheat Flour-Water Suspensions



⁷ ГОСТ 21094-2022. (2022). Изделия хлебобулочные. Методы определения влажности. М.: Стандартинформ.

⁸ ГОСТ 5669-96. (2006). Хлебобулочные изделия. Метод определения пористости. Минск: Межгосударственный совет по стандартизации, метрологии и сертификации.

которая соответствует началу повышения вязкости, максимальную вязкость и температуру полной клейстеризации, которая определяется при данной вязкости. На Рисунке 2 показаны параметры клейстеризации, рассчитанные по амилограммам.

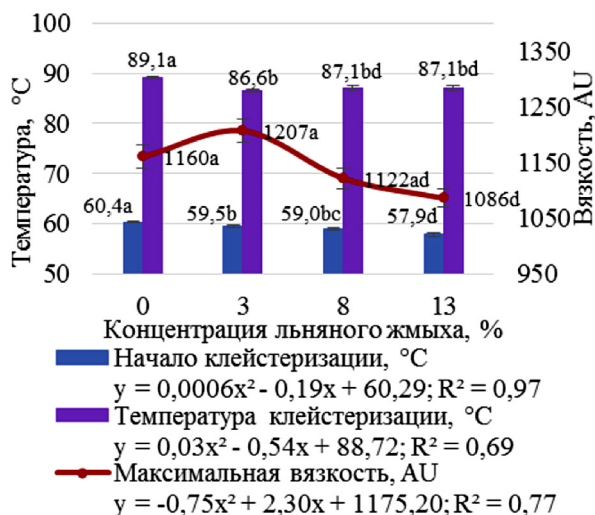
Льняной жмых влиял на все исследуемые параметры клейстеризации (Рисунок 2). Минимальные значения температуры начала клейстеризации наблюдались при концентрации жмыха 13%. Температура клейстеризации изменялась по параболической зависимости. Минимальное значение температуры полной клейстеризации установлено при концентрации исследуемого рецептурного компонента 3%. Максимальная вязкость водно-мучной суспензии достигала пиковых значений при 3% жмыха, после чего наблюдалось её снижение. Регрессионные модели показали высокую степень соответствия экспериментальным данным ($R^2 > 0,79$),

Рисунок 2

Влияние льняного жмыха на показатели клейстеризации водно-мучной суспензии

Figure 2

Effect of Flaxseed Meal on Pasting Properties of Wheat Flour-Water Suspension



Примечание. Средние значения на графиках, отмеченные разными надстрочными буквами (a–d), достоверно различаются при $p < 0,05$ согласно однофакторному дисперсионному анализу (ANOVA) с применением критерия множественных сравнений Тьюки

Note. Mean values on the graphs marked with different superscript letters (a–d) are significantly different at $p < 0.05$ according to a one-way analysis of variance (ANOVA) with Tukey's multiple comparisons test

что подтверждает статистическую значимость выявленных зависимостей. Наибольшая точность аппроксимации была достигнута для температуры начала клейстеризации ($R^2 = 0,99$).

С технологической точки зрения снижение температуры начала клейстеризации, особенно выраженное при высоких концентрациях жмыха (13%), указывает на возможность сокращения энергозатрат на этапе выпечки хлеба за счет более раннего формирования крахмального геля. Однако обнаруженное уменьшение максимальной вязкости при концентрациях жмыха выше 3% свидетельствует о необходимости подбора его дозировки, поскольку избыточное содержание пищевых волокон может нарушать формирование оптимальной структуры теста.

Водопоглотительная способность и реологические свойства теста в процессе замеса

На следующем этапе исследования определяли водопоглотительную способность муки и реологические свойства теста с использованием фаринографа. Результаты представлены на Рисунках 3 и 4.

Водопоглотительная способность муки возрастала с увеличением доли льняного жмыха, в среднем на 5,2% относительно контроля (Рисунок 3). Время образования теста также увеличивалось. Устойчивость теста была максимальной при 3% и 8% жмыха, снижаясь при 13%, но оставаясь выше контроля на 1 мин.

Полученные данные свидетельствуют о значительном влиянии льняного жмыха на реологические параметры теста. Наиболее выраженные изменения наблюдались при концентрациях 8% и выше, что может быть связано с повышенной гидрофильностью компонентов льняного жмыха.

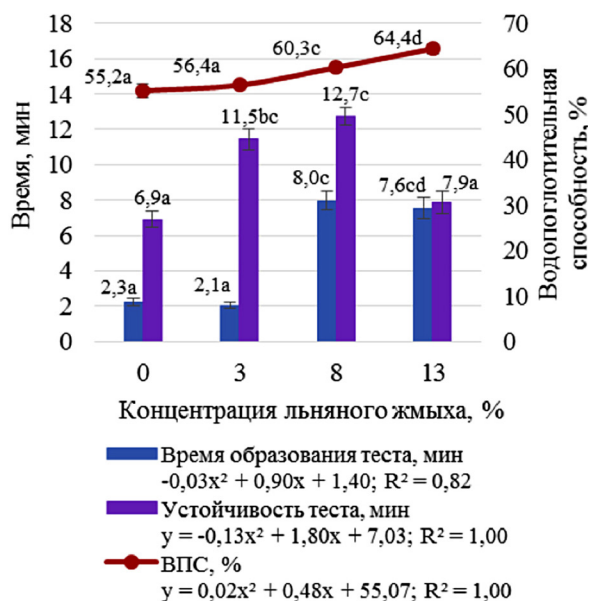
Степень разжижения теста через 10 мин после старта изменялась нелинейно (Рисунок 4). Математический анализ полученного уравнения регрессии зависимости степени разжижения теста от концентрации льняного жмыха показывает, что максимальное значение данного показателя наблюдалось у контрольного образца, затем степень разжижения снижалась, достигая минималь-

Рисунок 3

Влияние льняного жмыха на водопоглотительную способность муки, время образования и устойчивость теста при замесе

Figure 3

Effect of Flaxseed Meal on Flour Water Absorption, Dough Development Time, and Mixing Stability



Примечание. Средние значения на графиках, отмеченные разными надстрочными буквами (a–d), достоверно различаются при $p < 0,05$ согласно однофакторному дисперсионному анализу (ANOVA) с применением критерия множественных сравнений Тьюки

Note. Mean values on the graphs marked with different superscript letters (a–d) are significantly different at $p < 0.05$ according to a one-way analysis of variance (ANOVA) with Tukey's multiple comparisons test

ного значения при содержании жмыха 9,28%. В отличие от этого, степень разжижения через 12 мин после максимума демонстрировала устойчивую положительную динамику при увеличении концентрации льняного жмыха.

Показатель «число качества» достиг пикового значения при содержании исследуемого ингредиента 8,25%. При дальнейшем увеличении доли жмыха до 13% данный параметр снижлся, оставаясь тем не менее существенно выше исходного показателя у контроля.

Рисунок 4

Влияние льняного жмыха на степень разжижения теста и число качества при замесе

Figure 4

Effect of Flaxseed Meal on Dough Weakening Degree and Farinograph Quality Number During Mixing



Примечание. Средние значения на графиках, отмеченные разными надстрочными буквами (a–d), достоверно различаются при $p < 0,05$ согласно однофакторному дисперсионному анализу (ANOVA) с применением критерия множественных сравнений Тьюки

Note. Mean values on the graphs marked with different superscript letters (a–d) are significantly different at $p < 0.05$ according to a one-way analysis of variance (ANOVA) with Tukey's multiple comparisons test

Наблюдаемые закономерности свидетельствуют о сложном характере взаимодействия компонентов льняного жмыха с компонентами пшеничной муки. При концентрации исследуемого рецептурного компонента 8% отмечались экстремальные значения как степени разжижения через 10 мин после старта, так и числа качества. Полученные результаты указывают на возможность целенаправленного регулирования реологических свойств теста путем варьирования содержания льняного жмыха.

Проведенные исследования реологических свойств теста при замесе с добавлением льняного жмыха

демонстрируют существенное влияние данного ингредиента на технологические параметры хлебопекарного производства. С практической точки зрения увеличение водопоглотительной способности муки пропорционально содержанию жмыха (в среднем на 5,2%) указывает на необходимость корректировки рецептурных норм воды при внедрении данного рецептурного компонента в производство. Практический интерес также представляет нелинейный характер изменения степени разжижения и числа качества теста: наилучшие значения при дозировке жмыха 8% свидетельствуют об оптимальном состоянии тестовой матрицы при данной концентрации, что подтверждает возможность использования этой концентрации для улучшения технологических свойств теста.

Динамика газообразования и изменение структурно-механических свойств теста во время брожения

Наиболее длительной стадией производства хлебобулочных изделий является брожение теста и расстойка тестовых полуфабрикатов. Во время брожения дрожжи в водной фазе теста вырабатывают диоксид углерода. По мере насыщения водной фазы углекислый газ начинает диффундировать

в газовые ячейки, образовавшиеся при замесе. Эти газовые ячейки в тесте расширяются, что приводит к увеличению объема и формированию пористой структуры теста, что в итоге влияет на качество хлеба (Yazar, 2023). Поэтому проводили изучение влияния льняного жмыха на этот процесс с использованием реоферментометра. Этот измерительный прибор позволяет оценить реологические свойства теста в комплексе с учетом изменения его свойств под влиянием бродильной микрофлоры. В процессе анализа непрерывно строятся два графика, показывающие изменение высоты подъема теста и динамику выделения газа дрожжами при брожении (Sevcikova et al, 2024). На Рисунке 5 приведен график изменения высоты подъема теста при его брожении.

Анализ динамики подъема тестовых полуфабрикатов (Рисунок 5) выявил существенные различия в их структурно-механических свойствах в зависимости от содержания льняного жмыха. Наибольшую высоту подъема демонстрировал образец с 8% исследуемого компонента, что свидетельствует о его повышенной газодерживающей способности. Образцы с высоким содержанием жмыха (8% и 13%) после достижения максимального подъема проявляли тенденцию к опаданию, в то время как контрольный образец и вариант с 3% изучаемого

Рисунок 5

Влияние льняного жмыха на динамику поднятия теста в процессе брожения по показаниям реоферментометра

Figure 5

Effect of Flaxseed Meal on Dough Rise during Fermentation According to the Rheofermentometer Data

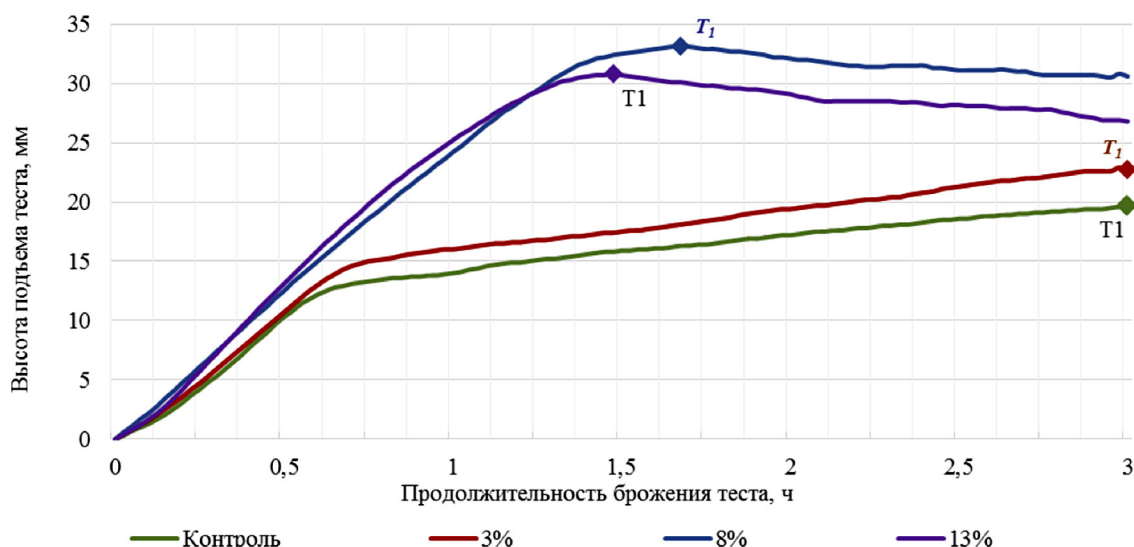
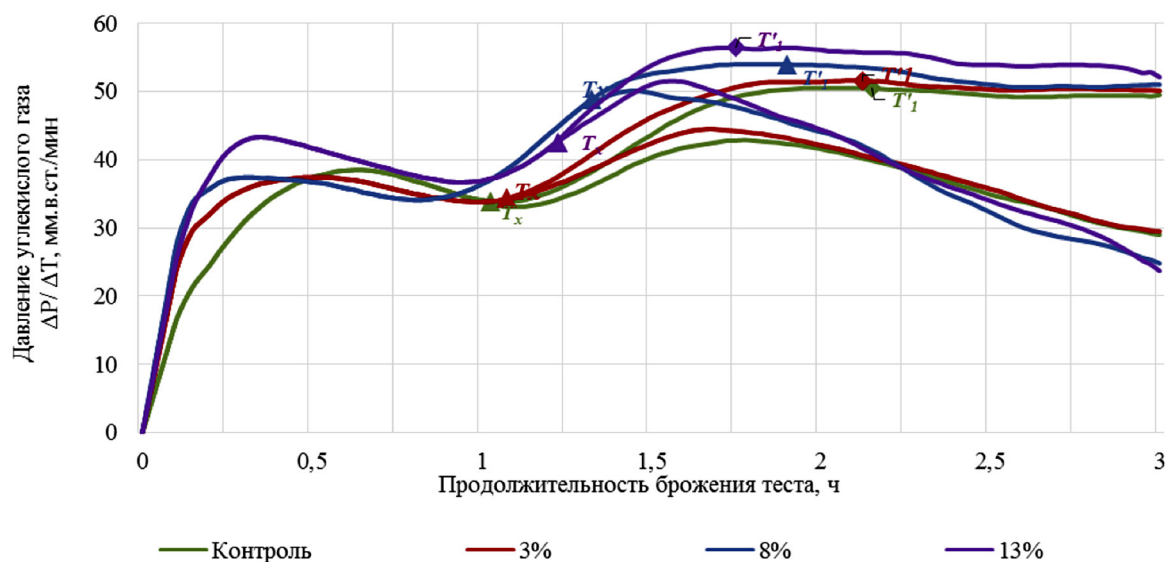


Рисунок 6

Влияние льняного жмыха на газообразующую способность муки и газодерживающую способность пшеничного теста в процессе брожения по показаниям реоферментометра

Figure 6

Effect of Flaxseed Meal on Gas Production and Gas-Retaining Ability during Fermentation According to the Rheofermentometer Data



ингредиента сохраняли стабильную высоту подъема на всем протяжении анализа (180 мин). Образец с 8 % льняного жмыха сочетал максимальную высоту подъема с последующим частичным опаданием, оставаясь при этом выше остальных образцов.

На Рисунке 6 приведены графики выделения углекислого газа дрожжами. На графиках представлены кривые как удержанного тестом газа, так и потерянного газа, что позволяет определить влияние льняного жмыха на газообразующую способность муки и газодерживающую способность теста.

Анализ Рисунка 6 показывает, что максимальное количество углекислого газа выделено образцом теста с концентрацией льняного жмыха 13%. Однако больший период времени по сравнению с остальными образцами удерживал газ (T_x) образец с дозировкой исследуемого ингредиента 8%.

На Рисунках 7 и 8 приведены числовые показатели, полученные путем анализа данных Рисунков 5 и 6.

Рисунок 7 показывает, что максимальная высота подъема теста (H_m , мм) увеличивалась с ростом концентрации вносимого ингредиента. Нахождение экстремума функции, описывающей зависимость высоты подъема теста от концентрации льняного

жмыха ($y = -0,12x^2 + 2,58x + 18,58$), путем приравнивания первой производной к нулю позволило установить, что максимальная высота подъема достигается при введении жмыха в количестве 10,75%. При этом контрольный образец и образец с 3% исследуемого рецептурного компонента сохраняли высокую стабильность высоты при брожении, не опадая. При дозировке льняного жмыха 8% наблюдалось опадание теста на 2,5 мм, при 13% — на 4,0 мм. Анализ уравнений регрессии показывает, что при концентрации льняного жмыха 8,96% наблюдалась максимальная высота теста в конце испытания (h).

Введение льняного жмыха ускоряло процесс брожения. Так, время достижения максимальной высоты подъема теста (T_1) сократилось с 180 мин (контроль) до 88,5 мин (13%). Продолжительность брожения до максимального объема (T'_1) уменьшилась по отношению к контролю на 26,4% при 13% льняного жмыха. Расчет координат вершины параболы, описывающей зависимость времени начала потерь CO_2 (T_x), показал, что максимальное значение данного параметра наблюдается при внесении 8,57% льняного жмыха взамен муки.

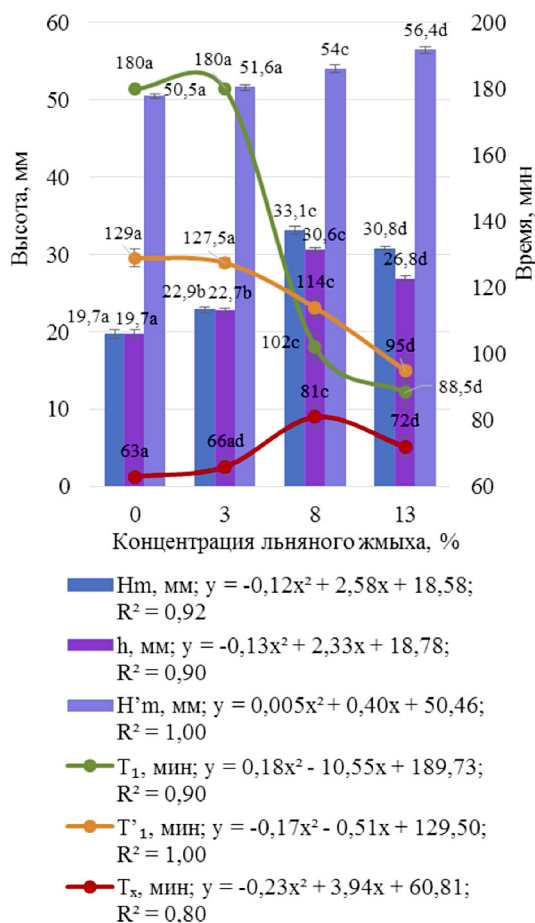
Анализ Рисунка 8 показывает, что общий объем произведенного CO_2 последовательно увеличивался с ростом доли льняного жмыха. При низких

Рисунок 7

Влияние льняного жмыха на высоту подъема и время брожения теста

Figure 7

Effect of Flaxseed Meal on Dough Fermentation Height and Time



Примечание. Средние значения на графиках, отмеченные разными надстрочными буквами (a–d), достоверно различаются при $p < 0,05$ согласно однофакторному дисперсионному анализу (ANOVA) с применением критерия множественных сравнений Тьюки

Note. Mean values on the graphs marked with different superscript letters (a–d) are significantly different at $p < 0.05$ according to a one-way analysis of variance (ANOVA) with Tukey's multiple comparisons test

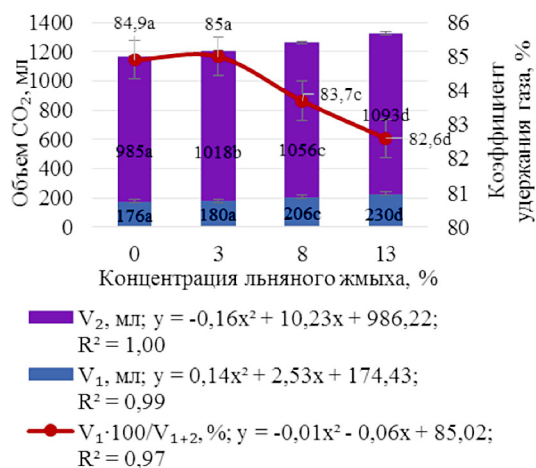
концентрациях жмыха (3–8%) коэффициент газоудержания сохранялся на уровне 83,7–85%. Однако при концентрации исследуемого ингредиента 13% наблюдалось увеличение потерь CO₂ и снижение коэффициента газоудержания на 2,3% по отношению к контролю.

Рисунок 8

Влияние льняного жмыха на выработку CO₂ и газоудерживающие свойства теста

Figure 8

Effect of Flaxseed Meal on CO₂ Production and Gas Retention Properties in Dough



Примечание. Средние значения на графиках, отмеченные разными надстрочными буквами (a–d), достоверно различаются при $p < 0,05$ согласно однофакторному дисперсионному анализу (ANOVA) с применением критерия множественных сравнений Тьюки

Note. Mean values on the graphs marked with different superscript letters (a–d) are significantly different at $p < 0.05$ according to a one-way analysis of variance (ANOVA) with Tukey's multiple comparisons test

Результаты исследования динамики газообразования и высоты подъема теста во время брожения с добавлением льняного жмыха имеют важное практическое значение. Наибольший технологический эффект достигается при введении в тесто жмыха в дозировке 8%, что подтверждается тремя ключевыми показателями: максимальной высотой подъема теста (33,1 мм против 19,7 мм в контроле), увеличенным временем газоудержания (81 мин против 63 мин) и ускоренным достижением максимального объема (114 мин против 129 мин). Эти параметры указывают на возможность сокращения времени брожения и расстойки на 12% или снижение дозировки дрожжей при сохранении качества изделий. При промышленном внедрении следует учитывать, что концентрация жмыха 8% обеспечивает оптимальный баланс между газообразованием и стабильностью теста. Однако при превышении этой концентрации до 13% наблюдается ухудшение газоудерживающей способности (снижение ко-

эффицента на 1,1%), что приведет к чрезмерному уплотнению мякиша.

В Таблице 2 приведены данные, обобщающие влияние льняного жмыха на ключевые реологические характеристики теста.

Полученные данные свидетельствуют о комплексном влиянии льняного жмыха на реологические свойства теста с максимальным эффектом при концентрации 8%, что подтверждается статистически значимыми различиями ($p < 0,05$) по критерию Тьюки между всеми опытными образцами и контролем (Таблица 2).

Показатели качества хлебобулочных изделий

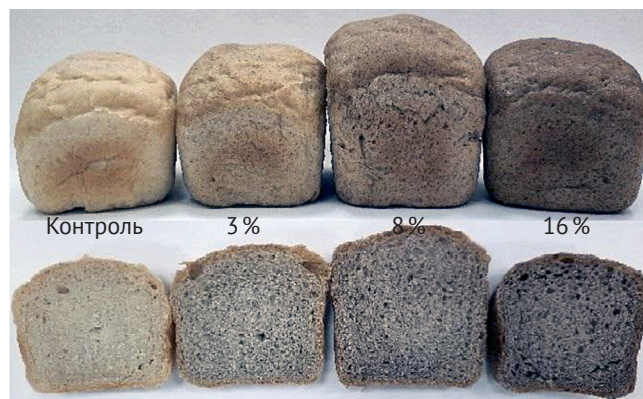
Проведенная органолептическая оценка хлеба с различным содержанием льняного жмыха выявила значимые изменения качественных характеристик готовых изделий. Образцы с исследуемым ингредиентом сохраняли правильную форму. При этом наибольшую высоту имел образец с концентрацией

Рисунок 9

Влияние льняного жмыха на внешний вид и структуру пористости мякиша пшеничного хлеба

Figure 9

Effect of Flaxseed Meal on the Appearance and Porosity Structure of Wheat Bread Crumb



льняного жмыха 8%. При 13% изучаемого рецептурного компонента установлено снижение высоты хлеба (Рисунок 9). Интенсивность окраски корки прогрессивно увеличивалась от светло-золотистой (контроль) до темно-коричневой (13%). Оптималь-

Таблица 2

Влияние льняного жмыха на ключевые реологические показатели теста

Table 2

Effect of Flaxseed Meal on Key Rheological Dough Parameters

Показатели	Контроль	Концентрация льняного жмыха, % взамен муки			р-значения
		3	8	13	
$T_K, ^\circ\text{C}$	$89,1 \pm 0,3^a$	$86,6 \pm 0,3^b$	$87,1 \pm 0,5^{bd}$	$87,1 \pm 0,4^{bd}$	<0,001
V, AU	1160 ± 21^a	1207 ± 20^a	1122 ± 18^{ad}	1086 ± 17^d	<0,001
DDT, мин	$2,25 \pm 0,19^a$	$2,05 \pm 0,16^a$	$7,98 \pm 0,52^c$	$7,55 \pm 0,58^{dc}$	<0,001
$S, \text{мин}$	$6,92 \pm 0,43^a$	$11,45 \pm 0,58^{bc}$	$12,72 \pm 0,49^c$	$7,9 \pm 0,62^a$	<0,001
VA, %	$55,2 \pm 1,6^a$	$56,4 \pm 0,7^a$	$60,3 \pm 0,8^c$	$64,4 \pm 1,1^d$	<0,001
FQN, мм	$77 \pm 1,7^a$	$118 \pm 2,6^b$	$163 \pm 5,3^c$	$129 \pm 6,2^{dc}$	<0,001
Hm, мм	$19,7 \pm 0,6^a$	$22,9 \pm 0,4^b$	$33,1 \pm 0,5^c$	$30,8 \pm 0,3^d$	<0,001
$T'_1, \text{мин}$	$129 \pm 2,6^a$	$127,5 \pm 1,5^a$	114 ± 3^c	95 ± 4^d	<0,001
$T_x, \text{мин}$	$63 \pm 2,2^a$	$66 \pm 2,6^{ad}$	$81 \pm 3,3^c$	72 ± 3^d	<0,001
$V_1 + V_2, \text{мл}$	1160 ± 15^a	1198 ± 12^b	1262 ± 13^c	1322 ± 9^d	<0,001
$V_1 \times 100/V_{1+2}, \%$	$84,9 \pm 0,2^a$	$85 \pm 0,1^a$	$83,7 \pm 0,3^c$	$82,6 \pm 0,3^d$	<0,001

Примечание. Средние значения в одной строке, отмеченные разными надстрочными буквами (a–d), достоверно различаются при $p < 0,05$ согласно однофакторному дисперсионному анализу (ANOVA) с применением критерия множественных сравнений Тьюки

Note. Within a row, mean values marked with different superscript letters (a–d) are significantly different at $p < 0.05$ according to a one-way analysis of variance (ANOVA) with Tukey's multiple comparisons test

ная пористость отмечена при 8% льняного жмыха. Контрольный образец и вариант с 3% льняного жмыха имели более плотную структуру мякиша. При 13% исследуемого ингредиента наблюдалось образование крупных пор неправильной формы.

Определение аромата при концентрации льняного жмыха более 8% показало проявление ярко выраженного орехового оттенка. В образцах с концентрацией исследуемого ингредиента 3% и 8% отмечен сбалансированный вкус с легкой ореховой ноткой, а при 13% — горьковатый привкус. Пропорционально содержанию жмыха также удлинялось послевкусие. Наилучшие показатели эластичности и разжевываемости мякиша выявлены у варианта с 8% льняного жмыха.

Максимальный балл по результатам органолептического анализа с учетом коэффициентов весомости получил образец с 8% льняного жмыха (34,6 балла), что на 7,5% выше контрольного (Таблица 3). Резкое ухудшение качества отмечено при 13% изучаемого рецептурного ингредиента (31 балл). Низкий средний балл органолептической оценки контрольного образца (32,2 балла), вероятно, связан с низкой амилазной активностью исходной муки, на что указывает высокое значение числа падения (365 ± 7 с). Низкая амиллитическая активность муки ограничивает спиртовое брожение дрожжей, в результате чего мякиш плохо разрыхляется углекислым газом и накапливается меньше вкусоароматических веществ, формирующих вкус и аромат хлеба.

Внесение льняного жмыха привело к увеличению влажности хлеба по сравнению с контрольным образцом в среднем на 3,2%. Максимальное увеличение влажности наблюдалось в образце с 13% льняного жмыха (Таблица 3).

Введение льняного жмыха привело к значительному повышению пористости готовых изделий. Максимальное значение пористости зафиксировано при концентрации исследуемого ингредиента 8% (увеличение на 13,5% по отношению к контролю). При 13% жмыха наблюдалось снижение пористости до 5,7% по сравнению с вариантом, содержащим 8%, однако показатель оставался выше контрольного на 7,8%.

С технологической точки зрения ухудшение показателей качества хлеба при дозировке льняного жмыха 13% ограничивает максимально допустимую дозировку данного рецептурного компонента. Выявленное улучшение эластичности мякиша при 8% исследуемого жмыха имеет практическое значение для производства изделий длительного хранения, так как это может замедлять процесс черствения. Усиление нехарактерного для пшеничного хлеба орехового аромата требует особого внимания при разработке ассортимента. Такие изделия лучше позиционировать как премиальные или функциональные продукты (Гумеров с соавт., 2022).

Таблица 3

Влияние льняного жмыха на органолептические и физико-химические показатели хлебобулочных изделий

Table 3

Effect of Flaxseed Meal on the Organoleptic and Physicochemical Properties of Bakery Products

Наименование показателя	Контроль	Концентрация льняного жмыха, % взамен муки			p-значения
		3	8	13	
Влажность, %	41,5 ± 0,2 ^a	44,5 ± 0,3 ^{bcd}	44,2 ± 0,5 ^c	45,3 ± 0,4 ^d	<0,001
Пористость, %	65,8 ± 0,1 ^a	68,8 ± 0,5 ^b	79,3 ± 0,1 ^c	73,6 ± 0,1 ^d	<0,001
Средний балл органолептического анализа, балл	32,2 ± 0,6 ^a	34,1 ± 0,5 ^{bc}	34,6 ± 0,6 ^c	31 ± 0,8 ^a	<0,001

Примечание. Средние значения в одной строке, отмеченные разными надстрочными буквами (a–d), достоверно различаются при $p < 0,05$ согласно однофакторному дисперсионному анализу (ANOVA) с применением критерия множественных сравнений Тьюки

Note. Within a row, mean values marked with different superscript letters (a–d) are significantly different at $p < 0.05$ according to a one-way analysis of variance (ANOVA) with Tukey's multiple comparisons test

Статистический анализ

Корреляционный анализ выявил значимые линейные взаимосвязи между ключевыми реологическими параметрами теста при добавлении льняного жмыха.

Наблюдалась сильная положительная корреляция между концентрацией льняного жмыха и водопоглотительной способностью муки ($r = 0,994$; $p < 0,05$), максимальной высотой подъема теста, соответствующей максимальному объему ($r = 0,999$; $p < 0,001$) и общим объемом выделенного CO_2 ($r = 0,999$; $p < 0,001$). Отрицательная корреляция зафиксирована с коэффициентом газоудержания ($r = -0,968$; $p < 0,05$) и температурой начала клейстеризации ($r = -0,985$; $p < 0,05$).

Время образования теста коррелировало с максимальной высотой подъема теста ($r = 0,969$; $p < 0,05$). Степень разжижения через 10 мин после старта демонстрировала сильную обратную зависимость с максимальной высотой подъема теста ($r = -0,981$; $p < 0,05$) и пористостью ($r = -0,976$; $p < 0,05$).

Общий объем произведенного CO_2 положительно коррелировал со степенью разжижения теста через 12 мин после максимума ($r = 0,953$; $p < 0,05$), но отрицательно — с температурой начала клейстеризации ($r = -0,984$; $p < 0,05$).

Пористость хлеба положительно коррелировала с числом качества фаринографа ($r = 0,959$; $p < 0,05$) и максимальной высотой подъема теста ($r = 0,967$; $p < 0,05$).

С технологической точки зрения наблюдаемые корреляции указывают на то, что добавление льняного жмыха существенно влияет на реологические свойства теста. Сильная положительная связь между концентрацией жмыха и водопоглотительной способностью муки, максимальной высотой подъема теста и объемом выделенного CO_2 свидетельствует о том, что жмых усиливает гидратацию муки и газообразование, что положительно влияет на объем готового изделия. Взаимосвязь времени образования теста с максимальной высотой подъема демонстрирует, что для достижения лучшей пористости изделий важно использовать оптимальную продолжительность замеса теста. Обратная зависимость степени разжижения теста от максимальной высо-

ты подъема и пористости подтверждает, что избыточное добавление жмыха приводит к снижению прочности теста и качества хлеба. Таким образом, оптимальная дозировка льняного жмыха должна учитывать улучшение газообразования и сохранение стабильности тестовой матрицы.

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Результаты исследования свидетельствуют о комплексном механизме влияния льняного жмыха на свойства теста, основанном на конкуренции за воду и изменении структуры белково-крахмальной матрицы. Полисахариды льняного жмыха (особенно слизь, содержащая арабиноксиланы) образуют с крахмалом конкурентные водородные связи. При концентрациях жмыха 3% и 8% это приводит к снижению температуры клейстеризации на 2–3 °C за счет пластификации крахмальных гранул, тогда как при 13% наблюдается деструктуризация геля из-за избыточной гидратации некрахмальных полисахаридов.

Показатели устойчивости теста и числа качества достигали максимальных значений при концентрациях льняного жмыха 6,9% и 8,25% соответственно. Дальнейшее увеличение дозировки ингредиента приводило к снижению данных показателей. Указанные реологические изменения теста при замесе обусловлены двумя противоположными процессами: образованием дополнительных поперечных связей между белками льна (линуминами) и глютенном, что приводит к повышению устойчивости теста, и разрывом клейковинного каркаса пищевыми волокнами при концентрации жмыха выше 8,25%. Водопоглотительная способность муки увеличивалась пропорционально концентрации льняного жмыха, что обусловлено высокой гидрофильностью пищевых волокон льняного жмыха (Kauser et al., 2024). Увеличение времени образования теста при росте доли жмыха связано со снижением концентрации клейковины и затрудненным перемешиванием из-за неоднородности структуры при увеличении доли пищевых волокон. Кроме того, гидрофильные компоненты льняного жмыха (слизь, белки, клетчатка) замедляют гидратацию глютена, поэтому требуется больше времени для формирования структуры теста (Mueed et al., 2022).

Динамика изменения степени разжижения теста свидетельствует о сложных реологических превращениях. Первоначальное снижение показателя через 10 мин после начала замеса связано с быстрой гидратацией слизистых компонентов жмыха, что временно увеличивает вязкость системы. Последующее разжижение через 12 мин после максимума консистенции объясняется реструктуризацией гелевой фазы, когда набухшие полисахариды начинают выступать в роли пластификаторов, облегчая относительное скольжение структурных элементов теста (Liu et al., 2020).

Нелинейная зависимость между концентрацией льняного жмыха и параметрами качества теста, полученными с использованием реоферментометра, объясняется сложным взаимодействием нескольких физико-химических механизмов. Максимальная высота подъема теста при концентрации исследуемого ингредиента 10,75 % свидетельствует об образовании оптимальной структуры тестовой матрицы, где белки и гидроколлоиды льна (преимущественно слизи) формируют дополнительную сеть водородных связей с белками клейковины, что повышает вязкоупругие свойства системы. Этот эффект, аналогичный описанному Cotovanu et al. (2023) для муки киноа, обеспечивает улучшение газодерживающей способности за счет создания более равномерной и эластичной белково-полисахаридной матрицы. При повышении концентрации жмыха до 13 % происходит чрезмерное уплотнение структуры вследствие избыточного содержания клетчатки, что нарушает непрерывность клейковинного каркаса и снижает способность теста удерживать углекислый газ.

Ускорение бродильных процессов при добавлении льняного жмыха обусловлено комплексом биохимических факторов. Сокращение времени достижения максимального подъема теста в 2 раза при дозировке исследуемого ингредиента 13 % связано с присутствием в льняном жмыхе микроэлементов-активаторов дрожжевого метаболизма (Mg, Zn) и с увеличением доступности субстратов для брожения за счет частичного гидролиза полисахаридов жмыха ферментами муки, как показано в работах (Niyonshuti et al., 2024; Vichare et al., 2024).

Наибольшие значения высоты и пористости хлеба при концентрации 8 % объясняется формированием сбалансированной структуры теста. Тесто доста-

точно эластичное, чтобы удерживать CO_2 и не препятствовать его равномерному распределению. Как отмечает Дремучева и Носова (2021), такой эффект достигается за счет снижения проницаемости тестовой матрицы для углекислого газа, что обусловлено образованием более плотной белково-полисахаридной сети с уменьшенным размером пор между структурными элементами.

Оптимальное соотношение реологических свойств теста, физико-химических и органолептических показателей качества хлеба при содержании льняного жмыха в диапазоне 6,92–8,57 % обусловлено балансом нескольких факторов. При этих концентрациях достигается оптимальное соотношение между белковыми компонентами жмыха и пшеничным глютенем, что приводит к образованию дополнительных поперечных связей в тестовой матрице. Это подтверждается максимальными значениями устойчивости теста и числа качества, которые при более высоких концентрациях (13 %) снижаются из-за фрагментации клейковинного каркаса избытком клетчатки. Кроме того, слизистые компоненты жмыха при концентрации 8 % образуют равномерно распределенную гелевую фазу, которая сохраняет достаточную эластичность для удержания газа. При этом, как показали исследования с реоферментометром, продолжительность газодержания (T_x) достигает максимума именно при концентрации льняного жмыха 8,57 %, что объясняется оптимальной плотностью образующейся белково-полисахаридной сети. При данной дозировке жмыха достигается баланс между стимулирующим действием микроэлементов (Mg, Zn) на дрожжевую активность и структурными ограничениями для диффузии газов, что приводит к ускоренному брожению (сокращение T_1 на 37,5 %) при сохранении высоких газодерживающих свойств. В отличие от более высоких концентраций (13 %), где избыток клетчатки приводит к разрушению тестовой матрицы.

Полученные результаты для льняного жмыха демонстрируют как сходства, так и отличия от данных по другим видам жмыхов. Исследование Al-Khamaised et al. (2024) показало, что добавление кунжутного жмыха в тесто снижает водопоглотительную способность муки и ослабляет глютеневую сеть, уменьшая эластичность и прочность теста. Оптимальная дозировка кунжутного жмыха составляет до 10 %. В работе Zhang и Li (2024) показано, что жмых из семян дыни при внесении в тесто так-

же снижает водопоглощение муки из-за высокого содержания липидов, при этом оптимальная концентрация данного жмыха составляет 3%. Различия в оптимальных дозировках льняного, кунжутного жмыхов и жмыха из семян дыни обусловлены составом добавок: льняной жмых богат белками и гидроколлоидами, укрепляющими структуру теста, тогда как, вероятно, кунжутный жмых и жмых из семян дыни содержат больше липидов, нарушающих ее целостность. Результаты нашей работы согласуются с данными для жмыхов фундука и грецкого ореха авторов Русіа и Juszcak (2023), которые установили, что добавление данных жмыхов в тесто привело к увеличению водопоглощения муки, времени образования и устойчивости теста. Жмых грецкого ореха демонстрировал более выраженный эффект, особенно при концентрациях 10–15%. Вероятно, это связано с повышенным содержанием клетчатки и белка в жмыхах.

Выявленная в нашем исследовании оптимальная концентрация льняного жмыха 6,92–8,57% соответствует результатам других исследований, где низкие уровни внесения жмыхов масличных растений (5–10%) показывали наилучшие показатели пищевой ценности продуктов без негативного влияния на физико-химические и органолептические свойства. Добавление жмыхов в более высоких концентрациях ухудшало качество изделий, делая их хрупкими и менее привлекательными для потребителей (Petraru et al., 2020).

На основании полученных данных можно предложить следующую технологическую гипотезу для будущих исследований: введение льняного жмыха в рецептуру пшеничного теста улучшает его реологические и газодерживающие свойства за счет взаимодействия белков и полисахаридов льна с глютен-крахмальной матрицей. Ее проверка потребует применения методов электрофореза, что позволит уточнить механизмы влияния льняного жмыха на реологию и ферментативные процессы в тесте.

Ограничения исследования

Методологические ограничения связаны с условиями проведения эксперимента. В качестве модельных образцов использовались хлебобулочные изделия из пшеничной муки высшего сорта, приготовленные безопасным способом. Применялся

льняной жмых одного производителя (ООО «Казанское») с фиксированным размером частиц (не более 0,56 мм). Все испытания проводились в лабораторных условиях при строго контролируемых параметрах выпечки: температуре 180 °С в течение 35 мин с начальным пароувлажнением.

Ограничения интерпретации обусловлены недостаточной глубиной анализа. Оценка качества готовых изделий включала физико-химические (влажность, пористость) и органолептические показатели, без изучения химического состава и влияния льняного жмыха на сроки хранения продукта. Кроме того, исследование не затрагивало вопросы экономической целесообразности применения льняного жмыха в производственных масштабах.

Для преодоления текущих ограничений в будущих исследованиях необходимо расширить ассортимент изучаемых мучных изделий, включив разные сорта муки и способы приготовления теста, а также провести комплексный анализ химического состава и микроструктуры продуктов с добавлением льняного жмыха. Важно провести промышленные испытания, дополнительно исследовав влияние исследуемого рецептурного компонента на сроки хранения и экономическую эффективность производства.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведенное исследование представляет существенный вклад в развитие пищевой науки и технологии, раскрывая механизмы влияния льняного жмыха на реологические свойства тестовых систем. Экспериментально установлено, что введение льняного жмыха в рецептуру пшеничного хлеба в диапазоне концентраций 6,92–8,57% приводит к значимым изменениям реологических характеристик теста, которые проявляются в повышении водопоглотительной способности муки на 7,5–9,9%, увеличении устойчивости теста на 86,5–91,6% и сокращении времени достижения максимального подъема теста на 30,4–37,5%. Научная значимость работы определяется установлением ранее неизученных закономерностей взаимодействия компонентов льняного жмыха с белково-крахмальным комплексом пшеничной муки на различных стадиях технологического процесса. Особого внимания заслуживает выявленный эффект снижения температуры

начала клейстеризации крахмала и оптимизации газодерживающей способности теста при указанной концентрации исследуемого рецептурного компонента. С практической точки зрения полученные результаты показывают возможность использования льняного жмыха в качестве ингредиента не только в хлебопечении, но и при производстве других мучных пищевых продуктов, включая специализированные безглютеновые и функциональные изделия. При внесении льняного жмыха в рецептуру пшеничного хлеба в диапазоне концентраций 6,92–8,57% необходимо увеличить количество вносимой воды на 7,5–9,9% и сократить время брожения теста на 30,4–37,5%. Перспективным направлением дальнейших исследований представляется изучение синергетического эффекта от сочетания льняного жмыха с другими функциональными ингредиентами, а также оценка его влияния на пищевую ценность и сроки хранения продукции.

АВТОРСКИЙ ВКЛАД

Александр Васильевич Маслов: концептуализация; методология; проведение исследования; создание рукописи и ее редактирование.

Замира Шамиловна Мингалеева: руководство исследованием; ресурсы; создание рукописи и ее редактирование.

AUTHOR'S CONTRIBUTION

Alexander Maslov: conceptualization; methodology; investigation; writing-review & editing.

Zamira Mingaleeva: project administration; resources; writing-review & editing.

ЛИТЕРАТУРА

- Бекболатова, М. Е., & Машанова, Н. С. (2024). Влияние льняного жмыха и пивной дробины на характеристики пшеничного хлеба. *Вестник Алматинского технологического университета*, 146(4), 70–78. <https://doi.org/10.48184/2304-568X-2024-4-70-78>
- Вихрова, Е. А. (2022). Возможность использования льняной муки при производстве хлебобулочных изделий. *Вестник Красноярского государственного аграрного университета*, 1(178), 197–203. <https://doi.org/10.36718/1819-4036-2022-1-197-203>
- Гумеров, Т. Ю., Усманова, А. Р., Мингалеева, З. Ш., & Тарасова, Е. Ю. (2022). Изучение показателей безопасности зернового продукта «злаковый батончик». *Пищевые системы*, 5(1), 14–22. <https://doi.org/10.21323/2618-9771-2022-5-1-14-22>
- Дремучева, Г. Ф., & Носова, М. В. (2021). Результаты исследований хлебопекарных свойств пшеничной муки с использованием реоферментометра. *Хранение и переработка сельхозсырья*, (3), 105–114. <https://doi.org/10.36107/spfp.2021.238>
- Кандроков, Р. Х., Поречная, Е. С., & Юсеф, А. (2024). Влияние соотношения пшеницы и льна на качество формового хлеба из цельнозерновой пшенично-льняной муки. *Вестник Красноярского государственного аграрного университета*, 2(203), 229–239. <https://doi.org/10.36718/1819-4036-2024-2-229-239>
- Маслов, А. В., Мингалеева, З. Ш., Ямашев, Т. А., & Старовойтова, О. В. (2023). Влияние комплексной добавки на цветовые характеристики пшеничного и ржано-пшеничного хлеба. *Известия высших учебных заведений. Пищевая технология*, 4(393), 45–51. <https://doi.org/10.26297/0579-3009.2023.4.8>
- Мижева, А. А., Фоменко, И. А., Карачун, А. И., & Краснова, В. В. (2024). Обзор способов извлечения биологически активных соединений из продуктов переработки льняного семени. *Вестник Воронежского государственного университета инженерных технологий*, 4(86), 40–51. <https://doi.org/10.20914/2310-1202-2024-4-40-51>
- Поморова Ю.Ю., Овсепян С.К., & Серова Ю.М. (2023). Химико-биологические свойства и потенциальная ценность семян масличного льна (обзор). *Масличные культуры*, 1(193), 73–84. <https://doi.org/10.25230/2412-608X-2023-1-193-73-84>
- Ревакина, Н. А., & Сокол, Н. В. (2023). Комплексная оценка качества мучных композитных смесей из пшеничной и льняной муки для производства обогащенного хлеба. *Новые технологии*, 19(3), 78–86. <https://doi.org/10.47370/2072-0920-2023-19-3-78-86>

- Шанина, Е. В. (2023). Перспективы применения вторичного сырьевого ресурса (жмыха льна) в производстве овсяного печенья. *Вестник Красноярского государственного аграрного университета*, 5(194), 202–209. <https://doi.org/10.36718/1819-4036-2023-5-202-209>
- Al-Khamaised, A. M., & Saleh, M. I. (2024). Impact of Sesame (*Sesamum indicum* L.) Oil cake on pasta physicochemical properties. *Polish Journal of Food and Nutrition Sciences*, 74(3), 210–220. <https://doi.org/10.31883/pjfn/191267>
- Coțovanu, I., Mironeasa, C., & Mironeasa, S. (2023). Nutritionally improved wheat bread supplemented with quinoa flour of large, medium and small particle sizes at typical doses. *Plants*, 12(4), 698. <https://doi.org/10.3390/plants12040698>
- Grinvald, S. A., Barakova, N. V., Kiprushkina, E. I., Jamaldinova, B. A., Ushaeva, I. U., Tochilnikov, G., Sadovoy, V. V., & Gunkova, P. (2024). The effect of phenolic compounds contained in flour from green buckwheat, flaxseed, grape and dogwood seeds on the fermentation activity of yeast *S cerevisiae*. *Functional Foods in Health and Disease*, 14(3), 207–218. <https://doi.org/10.31989/ffhd.v14i3.1191>
- Jiang, X., Wang, X., & Zhou, S. (2023). Influence of roasted flaxseed marc flour on rheological, structural, fermentation, water distribution, and migration properties of wheat dough. *Journal of Food Science*, 88(12), 4840–4852. <https://doi.org/10.1111/1750-3841.16797>
- Kauser, S., Hussain, A., Ashraf, S., Fatima, G., Ambreen, S., Javaria, S., Abideen, Z. U., Kabir, K., Yaqub, S., Akram, S., Shehzad, A., & Korma, S. A. (2024). Flaxseed (*Linum usitatissimum*); phytochemistry, pharmacological characteristics and functional food applications. *Food Chemistry Advances*, 4, 100573. <https://doi.org/10.1016/j.focha.2023.100573>
- Liu, T., Duan, H., Mao, X., & Yu, X. (2020). Influence of flaxseed flour as a partial replacement for wheat flour on the characteristics of Chinese steamed bread. *RSC Advances*, 10(47), 28114–28120. <https://doi.org/10.1039/d0ra05742h>
- Logarušić, M., Radošević, K., Bis, A., Panić, M., Slivac, I., & Srček, V. G. (2020). Biological potential of flaxseed protein hydrolysates obtained by different proteases. *Plant Foods for Human Nutrition*, 75(4), 518–524. <https://doi.org/10.1007/s11130-020-00841-z>
- Ma, S., Wang, Z., Liu, N., Zhou, P., Bao, Q., & Wang, X. (2021). Effect of wheat bran dietary fibre on the rheological properties of dough during fermentation and Chinese steamed bread quality. *International Journal of Food Science and Technology*, 56(4), 1623–1630. <https://doi.org/10.1111/ijfs.14781>
- Makowska, A., Zielińska-Dawidziak, M., Waszkowiak, K., & Myszka, K. (2023). Effect of flax cake and lupine flour addition on the physicochemical, sensory properties, and composition of wheat bread. *Applied Sciences*, 13(13), 7840. <https://doi.org/10.3390/app13137840>
- Mekky, R. H., Abdel-Sattar, E., Segura-Carretero, A., & del Mar Contreras, M. (2022). A comparative study on the metabolites profiling of linseed cakes from Egyptian cultivars and antioxidant activity applying mass spectrometry-based analysis and chemometrics. *Food Chemistry*, 395, 133524. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2022.133524>
- Mueed, A., Shibli, S., Korma, S. A., Madjirebaye, P., Esatbeyoglu, T., & Deng, Z. (2022). Flaxseed bioactive compounds: Chemical composition, functional properties, food applications and health benefits-related gut microbes. *Foods*, 11(20), 3307. <https://doi.org/10.3390/foods11203307>
- Niyonshuti, E., & Kirkpinar, F. (2024). Comparison of nutrient composition and potential feed value of different cakes obtained by cold pressed method. *Journal of the Hellenic Veterinary Medical Society*, 75(3), 8017–8026. <https://doi.org/10.12681/jhvms.36360>
- Petraru, A., & Amariei, S. (2020). Oil press-cakes and meals valorization through circular economy approaches: A review. *Applied Sciences*, 10(21), 7432. <https://doi.org/10.3390/app10217432>
- Petraru, A., Amariei, S., & Senila, L. (2025). Flaxseed Oilcake: An Ingredient with High Nutritional Value in the Realization of Innovative Food Products. *Foods*, 14(7), 1087. <https://doi.org/10.3390/foods14071087>
- Puppel, K., Gołębiewski, M., Slószarz, J., Kunowska-Slószarz, M., Solarczyk, P., Grodkowski, G., Kostusiak, P., Grodkowska, K., Madras-Majewska, B., & Sakowski, T. (2023). The influence of cold-pressed linseed cake supplementation on fatty-acid profile and fat-soluble vitamins of cows' milk in an organic production system. *Animals*, 13(10), 1631. <https://doi.org/10.3390/ani13101631>

- Pycia, K., & Juszczak, L. (2023). Rheological Characteristics of wheat dough containing powdered hazelnuts or walnuts oil cakes. *Foods*, 13(1), 140. <https://doi.org/10.3390/foods13010140>
- Sanmartin, C., Taglieri, I., Venturi, F., Macaluso, M., Zinnai, A., Tavarini, S., Botto, A., Serra, A., Conte, G., Flamini, G., & Angelini, L. G. (2020). Flaxseed cake as a tool for the improvement of nutraceutical and sensorial features of sourdough bread. *Foods*, 9(2), 204. <https://doi.org/10.3390/foods9020204>
- Sevcikova, V., Adamek, M., Sebestikova, R., Buresova, I., Buran, M., Adamkova, A., Zvonkova, M., Skowronkova, N., Matyas, J., & Mlcek, J. (2024). New insights into the comprehensive system of thermodynamic sensors and electronic nose and its practical applications in dough fermentation monitoring. *Sensors*, 24(2), 352. <https://doi.org/10.3390/s24020352>
- Talwar, B., Chopra, R., Taneja, N. K., Chand, M., Homroy, S., Dhiman, A., Singh P. K., & Chaudhary, S. (2025). Use of flaxseed cake as a source of nutrients in the food industry and possible health benefits-a review. *Food Production, Processing and Nutrition*, 7(1), 22. <https://doi.org/10.1186/s43014-024-00294-w>
- Vichare, S. A., & Morya, S. (2024). Exploring waste utilization potential: Nutritional, functional and medicinal properties of oilseed cakes. *Frontiers in Food Science and Technology*, 4, 1441029. <https://doi.org/10.3389/frfst.2024.1441029>
- Wirkijowska, A., Zarzycki, P., Sobota, A., Nawrocka, A., Blicharz-Kania, A., & Andrejko, D. (2020). The possibility of using by-products from the flaxseed industry for functional bread production. *LWT*, 118, 108860. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2019.108860>
- Xu, J., Li, Y., Zhao, Y., Wang, D., & Wang, W. (2021). Influence of antioxidant dietary fiber on dough properties and bread qualities: A review. *Journal of Functional Foods*, 80, 104434. <https://doi.org/10.1016/j.jff.2021.104434>
- Yazar, G. (2023). Wheat flour quality assessment by fundamental non-linear rheological methods: A critical review. *Foods*, 12(18), 3353. <https://doi.org/10.3390/foods12183353>
- Zhang, G., & Li, Z. (2024). Impact of melon seed oil cake with different particle sizes on bread quality. *Food Production, Processing and Nutrition*, 6(1), 44. <https://doi.org/10.1186/s43014-024-00225-9>

REFERENCES

- Bekbolatova, M. E., & Mashanova, N. S. (2024). Influence of flaxseed cake and brewer's grain on the characteristics of wheat bread. *The Journal of Almaty Technological University*, 146(4), 70–78. (In Russ.). <https://doi.org/10.48184/2304-568X-2024-4-70-78>
- Vikhrova, E. A. (2022). Possible using flaxseed flour in the bakery products. *Bulliten KrasSAU*, 1(178), 197–203. (In Russ.). <https://doi.org/10.36718/1819-4036-2022-1-197-203>
- Gumerov, T. Yu., Usmanova, A. R., Mingaleeva, Z. Sh., & Tarasova, E. Yu. (2022). Study of safety indicators of the cereal product «cereal bar». *Food Systems*, 5(1), 14–22. (In Russ.). <https://doi.org/10.21323/2618-9771-2022-5-1-14-22>
- Dremucheveva, G. F., & Nosova, M. V. (2021). Results of studies of the baking properties of wheat flour using a rheofermentometer. *Storage and Processing of Farm Products*, (3), 105–114. (In Russ.). <https://doi.org/10.36107/spfp.2021.238>
- Kandrokov, R. H., Porechnaya, E. S., & Yusef, A. (2024). Wheat and flax ratio influence on the quality of shape bread from whole ground wheat-flax flour. *Bulliten KrasSAU*, 2(203), 229–239. (In Russ.). <https://doi.org/10.36718/1819-4036-2024-2-229-239>
- Maslov, A.V., Mingaleeva, Z. S., Yamashev, T. A., & Starovoitova, O. V. (2023). Effect of the complex additive on the color of wheat and rye-wheat bread. *Izvestiya vuzov. Food Technology*, 4(393), 45–51. (In Russ.). <https://doi.org/10.26297/0579-3009.2023.4.8>
- Mizheva, A. A., Fomenko, I. A., Karachun, A. I., & Krasnova, V. V. (2024). Review of methods for extracting biologically active compounds from flaxseed processing products. *Proceedings of the Voronezh State University of Engineering Technologies*, 4(86), 40–51. (In Russ.). <https://doi.org/10.20914/2310-1202-2024-4-40-51>
- Pomorova Yu.Y., Ovsepyan S.K., & Serova Yu.M. (2023). Chemical and biological properties and potential value of oil flax seeds. *Oil Crops*, 1(193), 73–84. (In Russ.). <https://doi.org/10.25230/2412-608X-2023-1-193-73-84>

- Revyakina, N. A., & Sokol, N. V. (2023). Comprehensive assessment of the quality of flour wheat-flax composite mixtures for the production of enriched bread. *New Technologies*, 19(3), 78–86. (In Russ.). <https://doi.org/10.47370/2072-0920-2023-19-3-78-86>
- Shanina, E. V. (2023). Prospects to use secondary raw materials (flax cake) in the oat cookies production. *Bulliten KrasSAU*, 5(194), 202–209. (In Russ.). <https://doi.org/10.36718/1819-4036-2023-5-202-209>
- Al-Khamaised, A. M., & Saleh, M. I. (2024). Impact of Sesame (*Sesamum indicum* L.) Oil cake on pasta physicochemical properties. *Polish Journal of Food and Nutrition Sciences*, 74(3), 210–220. <https://doi.org/10.31883/pjfn/191267>
- Coțovanu, I., Mironeasa, C., & Mironeasa, S. (2023). Nutritionally improved wheat bread supplemented with quinoa flour of large, medium and small particle sizes at typical doses. *Plants*, 12(4), 698. <https://doi.org/10.3390/plants12040698>
- Grinvald, S. A., Barakova, N. V., Kiprushkina, E. I., Jamaldinova, B. A., Ushaeva, I. U., Tochilnikov, G., Sadovoy, V. V., & Gunkova, P. (2024). The effect of phenolic compounds contained in flour from green buckwheat, flaxseed, grape and dogwood seeds on the fermentation activity of yeast *S cerevisiae*. *Functional Foods in Health and Disease*, 14(3), 207–218. <https://doi.org/10.31989/ffhd.v14i3.1191>
- Jiang, X., Wang, X., & Zhou, S. (2023). Influence of roasted flaxseed marc flour on rheological, structural, fermentation, water distribution, and migration properties of wheat dough. *Journal of Food Science*, 88(12), 4840–4852. <https://doi.org/10.1111/1750-3841.16797>
- Kausar, S., Hussain, A., Ashraf, S., Fatima, G., Ambreen, S., Javaria, S., Abideen, Z. U., Kabir, K., Yaqub, S., Akram, S., Shehzad, A., & Korma, S. A. (2024). Flaxseed (*Linum usitatissimum*); phytochemistry, pharmacological characteristics and functional food applications. *Food Chemistry Advances*, 4, 100573. <https://doi.org/10.1016/j.focha.2023.100573>
- Liu, T., Duan, H., Mao, X., & Yu, X. (2020). Influence of flaxseed flour as a partial replacement for wheat flour on the characteristics of Chinese steamed bread. *RSC Advances*, 10(47), 28114–28120. <https://doi.org/10.1039/d0ra05742h>
- Logarušić, M., Radošević, K., Bis, A., Panić, M., Slivac, I., & Srček, V. G. (2020). Biological potential of flaxseed protein hydrolysates obtained by different proteases. *Plant Foods for Human Nutrition*, 75(4), 518–524. <https://doi.org/10.1007/s11130-020-00841-z>
- Ma, S., Wang, Z., Liu, N., Zhou, P., Bao, Q., & Wang, X. (2021). Effect of wheat bran dietary fibre on the rheological properties of dough during fermentation and Chinese steamed bread quality. *International Journal of Food Science and Technology*, 56(4), 1623–1630. <https://doi.org/10.1111/ijfs.14781>
- Makowska, A., Zielińska-Dawidziak, M., Waszkowiak, K., & Myszka, K. (2023). Effect of flax cake and lupine flour addition on the physicochemical, sensory properties, and composition of wheat bread. *Applied Sciences*, 13(13), 7840. <https://doi.org/10.3390/app13137840>
- Mekky, R. H., Abdel-Sattar, E., Segura-Carretero, A., & del Mar Contreras, M. (2022). A comparative study on the metabolites profiling of linseed cakes from Egyptian cultivars and antioxidant activity applying mass spectrometry-based analysis and chemometrics. *Food Chemistry*, 395, 133524. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2022.133524>
- Mueed, A., Shibli, S., Korma, S. A., Madjirebaye, P., Esatbeyoglu, T., & Deng, Z. (2022). Flaxseed bioactive compounds: Chemical composition, functional properties, food applications and health benefits-related gut microbes. *Foods*, 11(20), 3307. <https://doi.org/10.3390/foods11203307>
- Niyonshuti, E., & Kirkpinar, F. (2024). Comparison of nutrient composition and potential feed value of different cakes obtained by cold pressed method. *Journal of the Hellenic Veterinary Medical Society*, 75(3), 8017–8026. <https://doi.org/10.12681/jhvms.36360>
- Petraru, A., & Amariei, S. (2020). Oil press-cakes and meals valorization through circular economy approaches: A review. *Applied Sciences*, 10(21), 7432. <https://doi.org/10.3390/app10217432>
- Petraru, A., Amariei, S., & Senila, L. (2025). Flaxseed Oilcake: An Ingredient with High Nutritional Value in the Realization of Innovative Food Products. *Foods*, 14(7), 1087. <https://doi.org/10.3390/foods14071087>
- Puppel, K., Gołębiewski, M., Slórsarz, J., Kunowska-Slórsarz, M., Solarczyk, P., Grodkowski, G., Kostusiak, P., Grodkowska, K., Madras-Majewska, B., & Sakowski, T. (2023). The influence of cold-pressed

- linseed cake supplementation on fatty-acid profile and fat-soluble vitamins of cows' milk in an organic production system. *Animals*, 13(10), 1631. <https://doi.org/10.3390/ani13101631>
- Рыца, К., & Juszczak, L. (2023). Rheological characteristics of wheat dough containing powdered hazelnuts or walnuts oil cakes. *Foods*, 13(1), 140. <https://doi.org/10.3390/foods13010140>
- Sanmartin, C., Taglieri, I., Venturi, F., Macaluso, M., Zinnai, A., Tavarini, S., Botto, A., Serra, A., Conte, G., Flamini, G., & Angelini, L. G. (2020). Flaxseed cake as a tool for the improvement of nutraceutical and sensorial features of sourdough bread. *Foods*, 9(2), 204. <https://doi.org/10.3390/foods9020204>
- Sevcikova, V., Adamek, M., Sebestikova, R., Buresova, I., Buran, M., Adamkova, A., Zvonkova, M., Skowronkova, N., Matyas, J., & Mlcek, J. (2024). New insights into the comprehensive system of thermodynamic sensors and electronic nose and its practical applications in dough fermentation monitoring. *Sensors*, 24(2), 352. <https://doi.org/10.3390/s24020352>
- Talwar, B., Chopra, R., Taneja, N. K., Chand, M., Homroy, S., Dhiman, A., Singh P. K., & Chaudhary, S. (2025). Use of flaxseed cake as a source of nutrients in the food industry and possible health benefits-a review. *Food Production, Processing and Nutrition*, 7(1), 22. <https://doi.org/10.1186/s43014-024-00294-w>
- Vichare, S. A., & Morya, S. (2024). Exploring waste utilization potential: Nutritional, functional and medicinal properties of oilseed cakes. *Frontiers in Food Science and Technology*, 4, 1441029. <https://doi.org/10.3389/frfst.2024.1441029>
- Wirkijowska, A., Zarzycki, P., Sobota, A., Nawrocka, A., Blicharz-Kania, A., & Andrejko, D. (2020). The possibility of using by-products from the flaxseed industry for functional bread production. *LWT*, 118, 108860. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2019.108860>
- Xu, J., Li, Y., Zhao, Y., Wang, D., & Wang, W. (2021). Influence of antioxidant dietary fiber on dough properties and bread qualities: A review. *Journal of Functional Foods*, 80, 104434. <https://doi.org/10.1016/j.jff.2021.104434>
- Yazar, G. (2023). Wheat flour quality assessment by fundamental non-linear rheological methods: A critical review. *Foods*, 12(18), 3353. <https://doi.org/10.3390/foods12183353>
- Zhang, G., & Li, Z. (2024). Impact of melon seed oil cake with different particle sizes on bread quality. *Food Production, Processing and Nutrition*, 6(1), 44. <https://doi.org/10.1186/s43014-024-00225-9>

ОБ АВТОРАХ

Маслов Александр Васильевич, к. т. н., доцент кафедры технологии пищевых производств Казанского национального исследовательского технологического университета (420015, Российская Федерация, г. Казань, ул. Карла Маркса, д. 68), ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5841-0705>, Scopus ID: 57212505736, SPIN-код: 9081-0638, MaslovAV@corp.knrtu.ru.

Мингалеева Замира Шамиловна, д. т. н., заведующий кафедрой технологии пищевых производств Казанского национального исследовательского технологического университета (420015, Российская Федерация, г. Казань, ул. Карла Маркса, д. 68), ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3076-9104>, Scopus ID: 57021671400, Researcher ID: S-8599-2016, SPIN-код: 4826-4514, MingaleevaZSh@corp.knrtu.ru.

ABOUT THE AUTHORS

Alexander V. Maslov – Cand. Sc. (Engineering), Associate Professor, Department of Food Production Technology, Kazan National Research Technological University (420015, Russian Federation, Kazan, Karl Marx St. 68), ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5841-0705>, Scopus ID: 57212505736, SPIN-код: 9081-0638, MaslovAV@corp.knrtu.ru.

Zamira Sh. Mingaleeva – Dr.Sc. (Engineering), Head of the Department of Food Production Technology, Kazan National Research Technological University (420015, Russian Federation, Kazan, Karl Marx St. 68), ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3076-9104>, Scopus ID: 57021671400, Researcher ID: S-8599-2016, SPIN-код: 4826-4514, MingaleevaZSh@corp.knrtu.ru.