

Междисциплинарные исследования / Interdisciplinary Research

Научная статья

Original article

DOI: [10.12731/2658-6649-2026-18-1-1417](https://doi.org/10.12731/2658-6649-2026-18-1-1417)

EDN: [URUSCJ](https://www.edn.ru/URUSCJ)

УДК 573.6.086



Оценка влияния продуктов переработки овса и льна на качество и биологическую ценность продуктов народного потребления

Д.Е. Колпакова, А. Naik, И.И. Плешивцев,
И.С. Милентьева, Л.К. Асякина

*Кемеровский государственный университет, Кемерово,
Российская Федерация*

Аннотация

Обоснование. Современные тенденции в питании населения характеризуются повышенным потреблением рафинированных продуктов, что приводит к дефициту ценных нутриентов и возрастанию рисков развития хронических заболеваний. Обогащение хлеба, являющегося одним из основных продуктов народного потребления, нетрадиционными видами муки, такими как овсяная и льняная, а также применение закваски, способствует повышению его пищевой и биологической ценности.

Цель – оценить результаты введения овсяной и льняной муки, а также применения закваски на физико-химические, органолептические и нутриентные свойства пшеничного хлеба.

Материалы и методы. Микробиологический анализ проводили с использованием Petrifilm (YM – дрожжи и плесени, CC – колиформы, STX – *S. aureus*). Оптимальную температуру роста микрофлоры определяли на средах Чапека-Докса (дрожжи) и MRS (молочнокислые бактерии). Содержание белка в муке определяли спектрофотометрически. Аминокислотный состав и содержание катионов анализировали методом капиллярного электрофореза. Органолептическую оценку хлеба проводили по ГОСТ Р 58233-2018. Физико-химические показатели (пористость, кислотность, влажность) определяли по ГОСТ 5669-96, ГОСТ 5670-96 и ГОСТ 21094-2022 соответственно.

Результаты. Установлено, что закваска, используемая для выпечки хлеба является безопасной и содержит молочнокислые бактерии и дрожжи, присутствующие

щие в сырье. Добавление овсяной и льняной муки, а также применение закваски, приводит к повышению содержания белка (на 41,3–74,6 %), некоторых аминокислот (более чем в 2 раза) и минералов (в 2–5,5 раз) в хлебе. При этом наблюдаются улучшенные органолептические характеристики и увеличение срока хранения хлеба. Полученные данные свидетельствуют о перспективности использования овсяной и льняной муки, а также закваски, для повышения пищевой и биологической ценности хлеба.

Ключевые слова: хлеб; закваска; нетрадиционное сырье; овсяная мука; льняная мука; минералы; белки; аминокислоты

Для цитирования. Колпакова, Д. Е., Naik, A., Плешивцев, И. И., Милентьева, И. С., & Асякина, Л. К. (2026). Оценка влияния продуктов переработки овса и льна на качество и биологическую ценность продуктов народного потребления. *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*, 18(1), 556–578. <https://doi.org/10.12731/2658-6649-2026-18-1-1417>

Evaluation of the influence of oat and flax processing products on the quality and biological value of consumer products

D.E. Kolpakova, A. Naik, I.I. Pleshivtsev,
I.S. Milentyeva, L.K. Asyakina

Kemerovo State University, Kemerovo, Russian Federation

Abstract

Background. Modern trends in the nutrition of the population are characterized by increased consumption of refined products, which leads to a deficiency of valuable nutrients and an increased risk of developing chronic diseases. Enrichment of bread, which is one of the main products of national consumption, with non-traditional types of flour, such as oat and flax, as well as the use of sourdough, helps to increase its nutritional and biological value.

Purpose. To evaluate the effects of adding oat and flaxseed flour and using sourdough on the physicochemical, organoleptic and nutritional properties of wheat bread.

Materials and methods. Microbiological analysis was performed using Petrifilm (YM – yeast and mold, CC – coliforms, STX – *S. aureus*). The optimal temperature for microflora growth was determined on Czapek-Dox (yeast) and MRS (lactic acid bacteria) media. The protein content in flour was determined spectrophotometrically. The amino acid composition and cation content were analyzed by capillary electrophoresis. Organoleptic assessment of bread was carried out according to GOST R 58233-2018.

Physicochemical indicators (porosity, acidity, moisture) were determined according to GOST 5669-96, GOST 5670-96 and GOST 21094-2022, respectively.

Results. It has been established that the sourdough used for baking bread is safe and contains lactic acid bacteria and yeast present in the raw materials. The addition of oat and flax flour, as well as the use of sourdough, leads to an increase in the protein content (by 41,3–74,6 %), some amino acids (more than 2 times) and minerals (2–5,5 times) in bread. At the same time, improved organoleptic characteristics and an increase in the shelf life of bread are observed. The data obtained indicate the prospects of using oat and flax flour, as well as sourdough, to increase the nutritional and biological value of bread.

Keywords: bread; sourdough; non-traditional raw materials; oat flour; flaxseed flour; minerals; proteins; amino acids

For citation. Kolpakova, D. E., Naik, A., Pleshivtsev, I. I., Milentyeva, I. S., Asyakina, L. K. (2026). Evaluation of the influence of oat and flax processing products on the quality and biological value of consumer products. *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*, 18(1), 556–578. <https://doi.org/10.12731/2658-6649-2026-18-1-1417>

Введение

Современный образ жизни, характеризующийся низкой физической активностью, воздействием неблагоприятных экологических факторов и несбалансированным питанием, приводит к развитию дефицита эссенциальных нутриентов у значительной части населения [7]. Данная проблема имеет серьезные последствия для общественного здравоохранения, увеличивая риск развития хронических заболеваний и снижая качество жизни. Хлеб, являясь одним из основных продуктов питания, играет важную роль в обеспечении организма энергией, однако зачастую содержит большое количество «пустых» калорий, преимущественно представленных легкоусвояемыми углеводами [6]. В связи с этим, актуальной задачей является не только обеспечение населения достаточным количеством калорий, но и повышение пищевой и биологической ценности потребляемых продуктов [13]. Перспективным подходом в этом направлении представляется обогащение хлеба нетрадиционными видами муки с повышенным содержанием биологически активных веществ. К таким видам муки относятся, например, овсяная и льняная, богатые клетчаткой, витаминами, минералами и полиненасыщенными жирными кислотами. Кроме того, использование закваски вместо дрожжей может способствовать улучшению усвояемости хлеба и обогащению его микрофлорой [1].

Овес, являясь ценным источником питательных веществ, широко используется в пищевой промышленности, в том числе для производства

муки. Добавление овса в товары народного потребления, в частности в хлеб, позволяет не только повысить их пищевую ценность, но и придать им функциональные свойства, способствуя профилактике и коррекции заболеваний, ассоциированных с несбалансированным, рафинированным питанием, в том числе сердечно-сосудистых патологий [12]. Овес богат полифенолами и γ -аминомасляной кислотой, обладающими антидиабетическим, антигипертензивным, кардио- и церебропротекторным действием [23]. Значительное содержание β -глюкана (2–8 %), растворимого пищевого волокна с доказанными свойствами, полезными для здоровья, дополнительно повышает биологическую ценность овса [11].

Использование овса в качестве пищевой культуры обусловлено его высокой питательной ценностью [15]. Помимо благоприятного влияния на липидный профиль (гипохолестеринемический эффект), регуляцию уровня глюкозы в крови и состав кишечной микробиоты, овес отличается высоким содержанием белка (12–20 %) по сравнению с другими зерновыми культурами [16]. Аминокислотный состав овсяного белка характеризуется высоким содержанием лизина, аспарагина и аланина, что определяет его высокую биологическую ценность и превосходство над другими зерновыми белками [26]. При этом голозерный овес содержит большее количество незаменимых аминокислот по сравнению с шелушеным. Наряду с β -глюканами, овсяный белок является объектом научных исследований, направленных на изучение его физико-химических свойств и возможностей применения в пищевой промышленности [17].

Семена льна – богатый источник белка (до 23% от общей массы, и до 35–40 % после экстракции масла). Льняной белок является полноценным, содержащим все незаменимые аминокислоты, включая аргинин, аланин, глицин, изолейцин, гистидин, лизин и лейцин [19]. Низкое соотношение лизина к аргинину (0,25) делает его перспективным компонентом для лекарственных препаратов и детского питания. Льняная мука, побочный продукт производства льняного масла, также представляет собой ценный источник белка [25]. Растительные белки, в том числе льняной, способствуют снижению риска сердечно-сосудистых заболеваний и уровня холестерина. Современные методы экстракции, например, с использованием ферментов, позволяют повысить эффективность извлечения белка и масла из семян льна [24]. Кроме того, семена льна богаты пищевыми волокнами (до 40 %), включающими растворимую (25 %) и нерастворимую (75%) фракции. Растворимая клетчатка (камеди, пектины, β -глюканы) способствует снижению уровня глюкозы и холестерина, а также служит

питательным субстратом для кишечной микрофлоры [16]. Нерастворимая клетчатка (целлюлоза, лигнин, гемицеллюлоза) также оказывает положительное влияние на здоровье.

Семена льна богаты как жиро-, так и водорастворимыми витаминами [22]. Высокое содержание γ -токоферола (витамина Е) обеспечивает антиоксидантную защиту, регулирует экскрецию натрия и снижает риск сердечно-сосудистых заболеваний, некоторых видов рака и болезни Альцгеймера. Присутствие витамина К (филлохинона) играет важную роль в коагуляции и метаболизме кальция [21]. Семена льна являются ценным источником макро- и микроэлементов. Помимо основных нутриентов (углеводы, белки, жиры), семена льна содержат значительное количество минералов, включая магний, калий, натрий, цинк, марганец, медь и железо [14]. В недавних исследованиях выявлено высокое содержание калия (763,66 мг/100 г), железа (5,13 мг/100 г), магния (406,60 мг/100 г), фосфора (581,46 мг/100 г) и цинка (3,30 мг/100 г) в семенах льна [20]. Данные элементы играют ключевую роль в регуляции метаболических процессов и поддержании здоровья населения. Включение семян льна в рацион питания способно компенсировать дефицит минералов, возникающий при потреблении продуктов из рафинированной муки, и обеспечить организм необходимыми микроэлементами для роста и развития [15].

Применение ферментированных продуктов, в частности закваски, в хлебопечении оказывает многостороннее влияние на характеристики готового продукта. Закваска, в отличие от дрожжей, представляет собой сложную симбиотическую культуру, включающую разнообразные штаммы молочнокислых бактерий (*Lactobacillus*, *Leuconostoc*, *Pediococcus* и др.) и дрожжей (*Saccharomyces cerevisiae*, *Candida milleri* и др.). Метаболическая активность молочнокислых бактерий, приводящая к образованию молочной и уксусной кислот, обуславливает характерный кислотный вкус хлеба, приготовленного на закваске. Более того, молочнокислые бактерии оказывают существенное влияние на реологические свойства теста, изменяя его вязкость, эластичность и способность удерживать газ. Это, в свою очередь, положительно влияет на объем, пористость, текстуру и скорость черствения хлеба. Кроме того, метаболиты молочнокислых бактерий и дрожжей взаимодействуют с компонентами муки, влияя на органолептические характеристики хлеба, такие как аромат, вкус и цвет [10].

Целью работы является исследование влияние добавления овсяной и льняной муки, а также применения закваски на качество и питательные свойства пшеничного хлеба.

Материалы и методы

Объектами исследований являлись:

1. Нетрадиционные виды муки (овсяная и льняная).
3. Хлеб на закваске с добавлением нетрадиционных видов муки и дрожжевой пшеничный хлеб, изготовленный по традиционной технологии.
4. Закваска, полученная методом спонтанной ферментации.

Исследование показателей качества и безопасности закваски

Для оценки микробиологических параметров закваски применялся метод посева серийных разведений на питательные плёнки Petrifilm. Количественный анализ дрожжей и плесеней проводился с использованием 3M Petrifilm Yeast and Mold (YM) с инкубацией при 25 ± 1 °C в течение 72 ± 2 часов. Колиформные бактерии и бактерии группы кишечной палочки определялись на 3M Petrifilm Coliform Count Plate (CC) и наличие золотистого стафилококка – с помощью 3M Petrifilm Staph Express Count Plate (STX) при 37 ± 1 °C в течение 24 ± 2 часов.

Процедура анализа включала разведение 1 мл закваски в 9 мл стерильной дистиллированной воды с последующим приготовлением серийных разведений до 10^{-9} . Аликвоты (1 мл) разведений от 10^{-6} до 10^{-9} высевались на соответствующие Petrifilm, инкубировались, после чего подсчитывалось количество колониеобразующих единиц.

Оптимальная температура роста микрофлоры закваски изучалась путем глубинного посева разведений 10^{-6} – 10^{-9} на селективные среды: агаризованную среду Чапека-Докса для дрожжей и среду MRS (Мана, Рогозы и Шарпа) для молочнокислых бактерий. Культивирование проводилось при температурах 25, 28 и 30 °C.

Активность молочнокислых бактерий определяли по методу Г.М. Смирновой и М.П. Юргенсон.

Исследование нетрадиционных видов муки и готовой продукции

Определение содержания белков в нетрадиционных видах муки проводили по методике М.М. Трусова и др. с использованием спектрофотометра ЮНИКО 1201 [9].

Для исследования содержания аминокислот использовали метод капиллярного электрофореза.

Для исследования содержания катионов 5 г муки растворяли в 100 см³ воды и выдерживали в течение часа на качалке. После чего образцы центрифугировали 10 минут при 4000 об/мин. Далее промывали прибор стандартными растворами, проводили анализ и обрабатывали результаты.

Процесс приготовления хлеба на закваске, включая рецептуру, был адаптирован из предыдущего исследования автора с модификацией, заключающейся в добавлении 20 % нетрадиционного сырья. Контрольный образец (пшеничный хлеб на дрожжах) выпекали по рецептуре, разработанной автором ранее [8], с заменой смеси пшеничной и ржаной обдирной муки на пшеничную муку высшего сорта.

Органолептическую оценку образцов хлеба проводили по методике, изложенной в ГОСТ Р 58233-2018 «Хлеб из пшеничной муки. Технические условия» [5]. Физико-химические параметры хлеба, приготовленного на закваске с добавлением нетрадиционных ингредиентов, определяли стандартными методами. Пористость измеряли согласно ГОСТ 5669-96 «Хлебобулочные изделия. Метод определения пористости» [3]. Кислотность определяли титриметрическим методом по ГОСТ 5670-96 «Хлебобулочные изделия [4]. Методы определения кислотности». Влажность образцов анализировали в соответствии с ГОСТ 21094-2022 «Изделия хлебобулочные. Методы определения влажности» [2].

Эксперименты проводились в трехкратной повторности для достоверности и правильности результатов.

Результаты и обсуждение

В таблице 1 представлены данные о показателях качества и безопасности закваски, используемой для приготовления всех видов хлеба.

Таблица 1.

Результаты исследования показателей качества закваски

Table 1. Results of the Study on Starter Culture Quality Indicators

Наименование показателя	Полученное значение
Подъемная сила, мин	36,0±1,2
Активность молочнокислых бактерий, мин	30,0±0,8
Наличие патогенных видов грибов и дрожжей	н.о.
Наличие золотистого стафилококка (<i>Staphylococcus aureus</i>)	н.о.
Наличие кишечной палочки (<i>Escherichia coli</i>)	н.о.
Общая обсемененность, КОЕ/г	5×10 ³

Примечание: н.о. – не обнаружено

Анализ данных, представленных в таблице 1, свидетельствует о микробиологической безопасности исследуемой закваски, обусловленной отсутствием патогенных микроорганизмов. Высокий уровень общей ми-

кробной обсемененности объясняется преобладанием молочнокислых бактерий (МКБ) и непатогенных штаммов дрожжей, составляющих основную микрофлору закваски. Высокая активность МКБ подтверждает их активное участие в процессах ферментации. Несмотря на то, что подъемная сила закваски ниже по сравнению с промышленными штаммами дрожжей *Saccharomyces cerevisiae*, более продолжительная ферментация, вероятно, способствует более полному и качественному протеканию биохимических процессов, влияющих на органолептические свойства конечного продукта.

Также подобрана оптимальная температура для развития культур дрожжей и молочнокислых бактерий, она составляет 25 °С. Выводы сделаны в соответствии с рисунком 1.

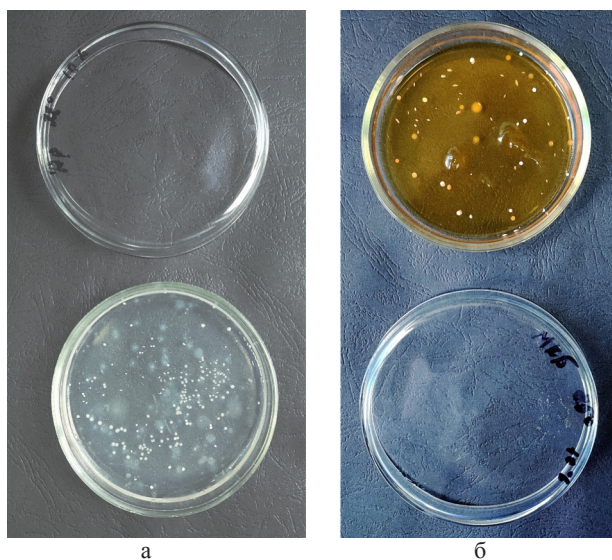


Рис. 1. Рост дрожжевых культур (а) и молочнокислых бактерий (б)

Fig. 1. Growth of yeast cultures (a) and lactic acid bacteria (b)

На рисунке 2 представлены результаты содержания белков в нетрадиционных видах муки и готовом хлебе с добавлением нетрадиционного вида сырья.

Результаты исследования содержания белка в различных видах муки демонстрирует существенное преимущество нетрадиционных вариантов, таких как льняная (больше на 17,5 г/100 г) и овсяная (больше на 5,8 г/100 г),

в сравнении с пшеничной. Повышение пищевой ценности современного рациона является актуальной задачей, и в этом контексте использование нетрадиционных видов муки, богатых белком, представляет особый интерес.

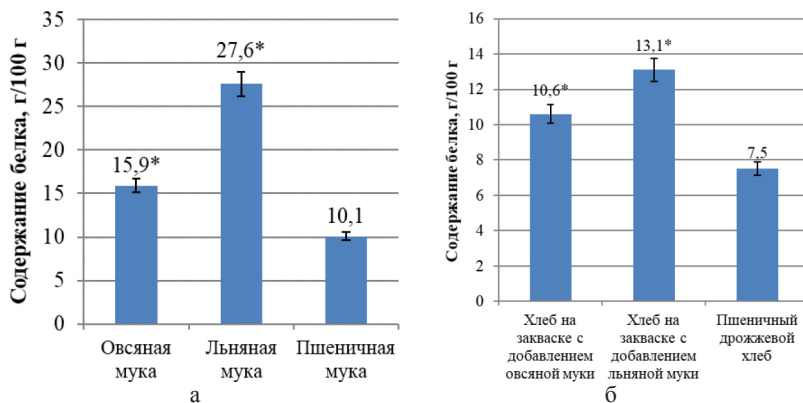


Рис. 2. Результаты содержания белка в муке и в хлебе

Fig. 2. Protein content in flour and bread

Примечание: * – различие статистически значимое ($p \leq 0,05$) по t-критерию Стьюдента

Анализ содержания белка в исследуемых образцах хлеба выявил зависимость этого показателя от рецептуры. Хлеб на закваске, приготовленный с добавлением овсяной (10,6 г/100 г) и особенно льняной (13,1 г/100 г) муки, характеризуется более высоким содержанием белка по сравнению с контрольным образцом пшеничного дрожжевого хлеба (7,5 г/100 г). Полученные данные позволяют сделать вывод о том, что использование овсяной и льняной муки при приготовлении хлеба на закваске способствует повышению его пищевой ценности за счет увеличения содержания белка.

В таблице 2 представлены результаты содержания аминокислот в нетрадиционных видах муки.

Как льняная, так и овсяная мука демонстрируют статистически значимое ($p \leq 0,05$) более высокое содержание большинства аминокислот по сравнению с пшеничной мукой. Исключение составляет пролин, содержание которого выше в пшеничной муке. Льняная мука характеризуется самым высоким содержанием большинства проанализированных аминокислот, включая аргинин, лизин, фенилаланин, лейцин/изолейцин, валин, треонин, серин, аланин и глицин. Заметное превосходство льняной муки

наблюдается, в частности, по содержанию аргинина (1924,40 мг/100 г), что более чем в пять раз превышает его концентрацию в пшеничной муке (368,59 мг/100 г).

Таблица 2.

Результаты содержания аминокислот в нетрадиционных видах муки**Table 2.** Results on the amino acid content of non-traditional types of flour

Наименование аминокислоты	Содержание в муке, мг/100 г		
	льняная мука	овсяная мука	пшеничная мука (контроль)
аргинин	1924,40*±92,21	826,36*±33,88	368,59±12,94
лизин	896,08*±41,66	472,03*±15,34	251,36±7,76
тирозин	501,89*±19,42	510,63*±19,96	248,12±9,03
фенилаланин	961,73*±44,04	634,70*±26,14	459,67±17,65
гистидин	468,45*±17,28	271,50*±9,20	198,49±6,51
лейцин и изолейцин	1968,63*±92,59	947,55±39,32	879,35±39,66
метионин	374,83*±14,39	145,99±4,67	142,94±4,42
валин	1067,40*±48,67	632,44*±24,41	423,59±17,36
пролин	805,29±33,74	712,27±27,85	854,60±39,23
треонин	766,08*±31,79	441,56*±14,44	310,25±12,09
серин	971,58*±43,91	572,17*±24,20	486,57±15,57
аланин	931,00*±38,96	549,50*±21,98	329,97±12,01
глицин	1251,00*±54,59	1146,77*±51,86	356,11±13,60

Примечание: * – различие статистически значимое ($p \leq 0,05$) по t-критерию Стьюдента

Овсяная мука занимает промежуточное положение по содержанию большинства аминокислот, превосходя пшеничную муку, но уступая льняной. Исключение составляют тирозин, содержание которого примерно одинаково в овсяной и льняной муке, и пролин, концентрация которого выше в пшеничной муке. Полученные результаты свидетельствуют о том, что включение льняной и овсяной муки в рацион способствует повышению его питательной ценности за счет увеличения потребления ряда незаменимых и заменимых аминокислот.

В таблице 3 представлены результаты исследования содержания катионов кальция, магния, калия и натрия в нетрадиционных видах муки.

Анализ минерального состава показал, что льняная и овсяная мука содержат значительно больше калия, натрия, магния и кальция по сравнению с контрольным образцом пшеничной муки. Различия статистически значимы ($p \leq 0,05$). Льняная мука характеризуется наибольшей концентрацией

всех исследуемых минералов, значительно превосходя по этому показателю как овсяную, так и пшеничную муку. Пшеничная мука, в свою очередь, демонстрирует наименьшее содержание всех анализируемых элементов. Таким образом, использование овсяной и льняной муки способно обогатить хлеб ценными минеральными веществами.

Таблица 3.

Результаты содержания минералов в нетрадиционных видах муки**Table 3. Mineral Content Results for Non-Traditional Types of Flour**

Наименование минералов	Содержание в муке, мг/100 г		
	Льняная мука	Овсяная мука	Пшеничная мука (контроль)
Калий	798,92*±36,11	276,91*±10,93	106,37±3,24
Натрий	29,41*±1,41	19,83*±0,81	2,96±0,10
Магний	381,29*±17,85	116,47*±4,43	17,63±0,69
Кальций	235,39*±10,64	61,16*±2,41	17,12±0,56

Примечание: * – различие статистически значимое ($p \leq 0,05$) по t-критерию Стьюдента

Органолептическая оценка трех образцов хлеба – пшеничного дрожжевого и двух вариантов хлеба на закваске с добавлением льняной и овсяной муки соответственно – выявила ряд различий. Все образцы соответствовали общим требованиям ГОСТ Р 58233-2018 «Хлеб из пшеничной муки. Технические условия» к пропеченности, влажности, эластичности и пористости мякиша. Однако, в то время как дрожжевой хлеб характеризовался стандартным вкусом с присутствием дрожжевого привкуса и светло-коричневым цветом, образцы на закваске продемонстрировали более насыщенный пшеничный вкус без дрожжевых нот. Хлеб на закваске с добавлением льняной муки имел коричневый цвет корки, а с добавлением овсяной муки – светло-коричневый. Оба варианта на закваске отличались более мягким и насыщенным ароматом по сравнению с дрожжевым хлебом. Таким образом, хлеб на закваске, независимо от добавок, обладал более выраженными и предположительно более привлекательными органолептическими характеристиками, особенно в отношении вкуса и запаха.

На рисунке 3 представлены результаты исследования физико-химических показателей в хлебе на закваске с добавлением нетрадиционных видов сырья и в контрольном образце.

Результаты исследования демонстрируют различия в кислотности образцов хлеба в зависимости от способа приготовления и используемых ингредиентов. Хлеб на закваске, как с добавлением овсяной муки, так и с

добавлением льняной муки, проявляет более низкие значения по сравнению с контрольным образцом пшеничного дрожжевого хлеба. Это, возможно, связано с более активным образованием органических кислот в процессе ферментации закваски. Наблюдаемые различия, хотя и незначительные, способны влиять на органолептические свойства хлеба, а также на кинетику технологического процесса. Более низкая кислотность хлеба на закваске потенциально может способствовать улучшению его пищевой ценности за счет более эффективного усвоения некоторых нутриентов.

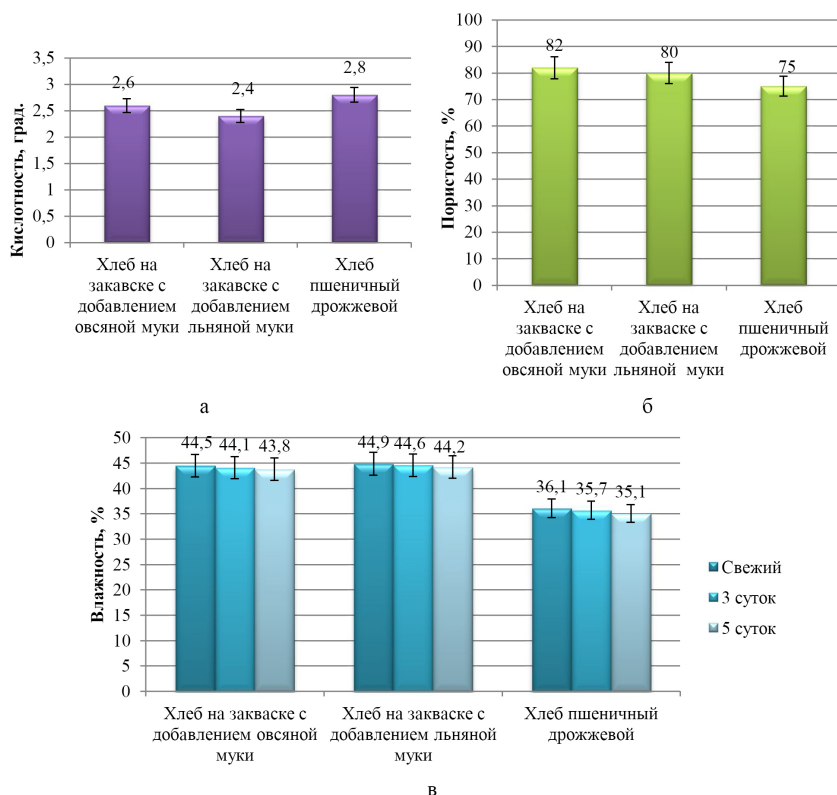


Рис. 3. Результаты исследования физико-химических показателей хлеба, где: а – результаты исследования кислотности; б – результаты исследования пористости; в – результаты исследования влажности на 1, 3 и 5 сутки

Fig. 3. Results of the analysis of the physicochemical properties of bread, where:

а – acidity test results; б – porosity test results; в – moisture content test results on days 1, 3, and 5

Анализ пористости исследуемых образцов хлеба показал, что хлеб на закваске, как с добавлением овсяной муки, так и с добавлением льняной муки, обладает более высокой пористостью по сравнению с контрольным образцом пшеничного дрожжевого хлеба. Это может быть обусловлено различиями в газообразующей способности закваски и дрожжей, а также влиянием добавок (овсяной и льняной муки) на реологические свойства теста. Более высокая пористость хлеба на закваске положительно сказывается на его органолептических характеристиках, таких как мягкость и воздушность мякиша.

Исследование динамики влажности хлеба в течение 5 суток хранения выявило следующие закономерности. Хлеб на закваске, как с добавлением овсяной муки, так и с добавлением льняной муки, изначально характеризуется более высокой влажностью по сравнению с пшеничным дрожжевым хлебом. В течение периода хранения наблюдается незначительное снижение влажности во всех образцах, что является естественным процессом. Однако, даже на 5 сутки хранения, хлеб на закваске сохраняет более высокую влажность (43,8 % и 44,2 % для хлеба с овсяной и льняной мукой соответственно) по сравнению с дрожжевым хлебом (35,1 %). Полученные данные свидетельствуют о том, что технология приготовления на закваске способствует лучшему удержанию влаги в хлебе, что может положительно влиять на его свежесть и органолептические свойства в течение более длительного периода хранения.

В таблице 4 представлены результаты содержания аминокислот в хлебе на закваске с добавлением нетрадиционных видов сырья и в контрольном образце.

Добавление овсяной и льняной муки, в сочетании с использованием закваски, статистически достоверно ($p \leq 0,05$) увеличивает содержание всех исследуемых аминокислот в пшеничном хлебе по сравнению с контрольным образцом (дрожжевой хлеб). Наиболее выраженные различия наблюдаются в содержании таких аминокислот, как аргинин, лизин, фенилаланин, метионин, валин, треонин и серин. Хлеб на закваске с добавлением льняной муки выделяется повышенным содержанием аргинина, лизина, фенилаланина, валина, пролина, треонина, серина, аланина и глицина. В хлебе на закваске с добавлением овсяной муки отмечено значительно более высокое содержание метионина. Полученные данные свидетельствуют о том, что использование закваски и добавление овсяной или льняной муки положительно влияет на аминокислотный состав хлеба, повышая его пищевую ценность.

Таблица 4.

Результаты содержания аминокислот в хлебе**Table 4. Results of Amino Acid Content in Bread**

Наименование аминокислоты	Содержание в хлебе, мг/100 г		
	Хлеб на закваске с добавлением льняной муки	Хлеб на закваске с добавлением овсяной муки	Хлеб пшеничный дрожжевой (контроль)
аргинин	695,64*±29,15	476,96*±19,22	311,97±10,26
лизин	365,85*±16,53	280,36*±11,10	186,26±6,72
тирозин	297,36*±14,06	298,24*±11,75	196,89±5,94
фенилаланин	554,79*±26,96	488,86*±17,94	362,35±14,27
гистидин	245,85*±11,62	218,78*±8,31	152,17±5,48
лейцин, изолейцин	1203,98*±59,24	1003,98*±47,48	810,34±34,76
метионин	187,56*±6,92	383,52*±11,85	113,26±4,02
валин	567,56*±18,21	480,49*±16,67	354,54±12,44
пролин	873,12*±40,94	854,11±40,63	712,78±32,64
треонин	363,55*±16,43	298,55*±10,76	210,59±9,20
серин	562,09*±23,44	482,02*±22,41	368,75±12,09
аланин	423,15*±17,60	346,15*±14,88	237,98±7,35
глицин	511,71*±23,79	490,74*±22,13	261,64±9,36

Примечание: * – различие статистически значимое ($p \leq 0,05$) по t-критерию Стьюдента

В таблице 5 представлены результаты определения содержания некоторых минералов в хлебе на закваске с нетрадиционными видами муки и контрольном образце.

Таблица 5.

Результаты содержания минералов в хлебе**Table 5. Results of Mineral Content in Bread**

Содержание минералов	Содержание в хлебе, мг/100 г		
	Хлеб на закваске с добавлением овсяной муки	Хлеб на закваске с добавлением льняной муки	Дрожжевой пшеничный хлеб без добавок
Калий	192,60*±7,32	283,00*±13,86	119,41±4,08
Натрий	10,80*±0,45	12,60*±0,56	5,64±0,19
Магний	43,77*±2,02	97,17*±4,26	17,29±0,84
Кальций	35,07*±1,69	73,45*±4,69	21,95±1,06

Примечание: * – различие статистически значимое ($p \leq 0,05$) по t-критерию Стьюдента

Результаты исследования демонстрируют влияние выбора типа хлеба на потребление биологически значимых минеральных веществ. Хлеб, приготовленный на закваске с добавлением овсяной или льняной муки, характеризуется более высоким содержанием макроэлементов, таких как калий, натрий, магний и кальций, по сравнению с традиционным пшеничным хлебом на дрожжах. Различия минерального состава обусловлена двумя основными факторами: применением закваски, предположительно способствующей более полной биодоступности минералов из зернового сырья, и внесением овсяной и льняной муки, являющихся источниками данных элементов. Значительное превышение концентраций магния и кальция в хлебе на закваске с добавлением льняной муки по сравнению с контрольным образцом (дрожжевой пшеничный хлеб) подчеркивает перспективность использования обогащенных сортов хлеба для коррекции минерального баланса в рационе питания.

Статистически достоверное увеличение содержания калия, натрия, магния и кальция наблюдается в обоих экспериментальных образцах по сравнению с контрольным (дрожжевой хлеб без добавок).

Заключение

1. Использованная закваска обладает микробиологической чистотой, содержит молочнокислые бактерии и непатогенные дрожжи, что способствует повышению качества хлеба.

2. Льняная и овсяная мука превосходят пшеничную по содержанию белка (на 17,5 г/100 г и 5,8 г/100 г соответственно), аминокислот (аргинина – 1924,40 мг/100 г в льняной против 368,59 мг/100 г в пшеничной) и минералов (овсяная мука богаче калием, натрием, магнием и кальцием). Добавление этих видов муки повышает пищевую ценность хлеба.

3. Хлеб на закваске с добавлением овсяной (10,6 г/100 г белка) и льняной (13,1 г/100 г белка) муки имеет более высокое содержание белка по сравнению с контрольным образцом (7,5 г/100 г). Хлеб на закваске с добавлением овсяной или льняной муки превосходит по аминокислотному составу традиционный дрожжевой хлеб. Хлеб с льняной мукой содержит больше аргинина (695,64 мг/100 г, что на 223 % больше к контролю), лизина (365,85 мг/100 г, больше на 196 %), и других аминокислот (валина, пролина, треонина, серина, аланина – превышение от 54 % до 77 %). Хлеб с овсяной мукой, содержит меньшее количество большинства аминокислот по сравнению с льняным, однако, выделяется наибольшим содержанием метионина (383,52 мг/100 г, больше 338% по отношению к контролю).

Хлеб на закваске с овсяной или льняной мукой значительно богаче минералами, чем дрожжевой. Льняной хлеб лидирует по содержанию калия – на

137 % по отношению к контролю, натрия – на 123%, магния – на 461 % и кальция – на 234 %. Овсяный хлеб также превосходит контроль по всем показателям, особенно по содержанию магния – на 153 % и кальция – на 60 %.

Также хлеб на закваске с добавлением нетрадиционных видов муки характеризуется более низкой кислотностью, повышенной пористостью, что благоприятно влияет на его органолептические свойства и продлевает срок хранения.

Информация о конфликте интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Информация о спонсорстве. Работы выполнены в рамках государственного задания FZSR-2024-0009.

Благодарности. Работа была выполнена с использованием оборудования ЦКП «Инструментальные методы анализа в области прикладной биотехнологии» на базе КемГУ.

Список литературы

1. Алехина, Н. Н., Пономарева, Е. И., Жаркова, И. М., & Гребенщиков, А. В. (2021). Оценка функциональных свойств и показателей безопасности зернового хлеба с амарантовой мукой. *Техника и технология пищевых производств*, 51(2), 323–332. <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2021-2-323-332>. EDN: <https://elibrary.ru/BSQLEY>
2. ГОСТ 21094-2022. *Изделия хлебобулочные. Методы определения влажности*. М.: Изд-во стандартов, 2022. 11 с.
3. ГОСТ 5669-96. *Хлебобулочные изделия. Метод определения пористости*. М.: Изд-во стандартов, 2006. 2 с.
4. ГОСТ 5670-96. *Хлебобулочные изделия. Методы определения кислотности*. М.: Изд-во стандартов, 1997. 5 с.
5. ГОСТ 58233-2018. *Хлеб из пшеничной муки. Технические условия*. М.: Изд-во стандартов, 2019. 14 с.
6. Жаркова, И. М., Росляков, Ю. Ф., & Иванчиков, Д. С. (2023). Закваски спонтанного (естественного) брожения: особенности технологии и роль в современном хлебопекарном производстве. *Техника и технология пищевых производств*, 53(3), 525–544. <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2023-3-2455>. EDN: <https://elibrary.ru/LQEJER>
7. Кандроков, Р. Х., Катин, С. А., Сивцев, А. О., Верьемьев, Д. Н., & Пестова, Е. В. (2025). Использование цельносомлотой пшенично-тритикалевой муки для производства хлебобулочных изделий. *Siberian Journal of Life Sciences and*

- Agriculture*, 17(1), 518–543. <https://doi.org/10.12731/2658-6649-2025-17-1-1084>. EDN: <https://elibrary.ru/ZPRLTT>
8. Колпакова, Д. Е. (2025). Потенциал растительного сырья в функциональном хлебопечении. *Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Пищевые и биотехнологии*, 13(1), 19–29. <https://doi.org/10.14529/food250103>. EDN: <https://elibrary.ru/EAYZUK>
 9. Трусова, М. М., Павлова, О. В. (2020). Разработка комбинированного сорбента для стабилизации коллоидной системы напитков брожения. *Пищевая промышленность: наука и технологии*, 4(13), 103–110. [https://doi.org/10.47612/2073-4794-2020-13-4\(50\)-103-110](https://doi.org/10.47612/2073-4794-2020-13-4(50)-103-110). EDN: <https://elibrary.ru/FKKMND>
 10. Bartkiene, E., Schleining, G., Juodeikiene, G., Vidmantienė, D., Krungleviciute, V., Rekštyte, T., ... & Maruska, A. (2014). The influence of lactic acid fermentation on biogenic amines and volatile compounds formation in flaxseed and the effect of flaxseed sourdough on the quality of wheat bread. *LWT — Food Science and Technology*, 56(2), 445–450. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2013.11.033>
 11. Cao, H., Gao, F., Shen, H., Su, Q., Guan, X., Sun, Z., & Yu, Z. (2023). Influence of partial substitution of wheat flour with sprouted oat flours on physicochemical and textural characteristics of wheat bread. *Journal of Cereal Science*, 110, 103649. <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2023.103649>. EDN: <https://elibrary.ru/EGHQZE>
 12. Gu, Y., Qian, X., Sun, B., Ma, S., Tian, X., & Wang, X. (2022). Nutritional composition and physicochemical properties of oat flour sieving fractions with different particle size. *Lebensm. Wiss. Technol.*, 154, 113266. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2022.113266>. EDN: <https://elibrary.ru/VBTQYK>
 13. Kandrov, R. Kh., Bekshokov, K. S., & Bekshokova, P. A. (2024). Amaranth grain processing products as sources of plant protein, starch, fat, and antioxidant. *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*, 16(2), 403–430. <https://doi.org/10.12731/2658-6649-2024-16-2-824>. EDN: <https://elibrary.ru/DHZGBY>
 14. Kaur, M., Kaur, R., & Gill, B. S. (2017). Mineral and amino acid contents of different flaxseed cultivars in relation to its selected functional properties. *Food Measure*, 11, 500–511. <https://doi.org/10.1007/s11694-016-9417-x>. EDN: <https://elibrary.ru/QPLYZZ>
 15. Kausar, S., Hussain, A., Ashraf, S., Fatima, G., Ambreen, Javaria, S., ... & 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>. EDN: <https://elibrary.ru/UMVZPF>
 16. Martínez-Villaluenga, C., & Peñas, E. (2017). Health benefits of oat: Current evidence and molecular mechanisms. *Current Opinion in Food Science*, 14, 26–31. <https://doi.org/10.1016/j.cofs.2017.01.004>

17. Mel, R., & Malalgoda, M. (2021). Oat protein as a novel protein ingredient: Structure, functionality, and factors impacting utilization. *Cereal Chemistry*, 99(1), 21–36. <https://doi.org/10.1002/cche.10488>. EDN: <https://elibrary.ru/YSPHYA>
18. Nieto-Nieto, T. V., Wang, Y. X., Ozimek, L., & Chen, L. (2015). Inulin at low concentrations significantly improves the gelling properties of oat protein—A molecular mechanism study. *Food Hydrocolloids*, 50, 116–127. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2015.03.031>
19. Noreen, S., Tufail, T., Bader Ul Ain, H., Ali A., Aadil, R. M., Nemat, A., & Manzoor, M. F. (2023). Antioxidant activity and phytochemical analysis of fennel seeds and flaxseed. *Food Sci Nutr*, 11(3), 1309–1317. <https://doi.org/10.1002/fsn3.3165>. EDN: <https://elibrary.ru/FEGXMG>
20. Nowak, W., & Jeziorek, M. (2023). The role of flaxseed in improving human health. *Healthcare*, 11(3), 395. <https://doi.org/10.3390/healthcare11030395>. EDN: <https://elibrary.ru/MSVAZT>
21. Plissonneau, C., Sivignon, A., Chassaing, B., Capel, F., Martin, V., Etienne, M., ... & Barnich, N. (2022). Beneficial effects of linseed supplementation on gut mucosa-associated microbiota in a physically active mouse model of Crohn's disease. *International Journal of Molecular Sciences*, 23(11), 5891. <https://doi.org/10.3390/ijms23115891>. EDN: <https://elibrary.ru/AEYUYV>
22. Rizvi, Q.-H., Shams, R., Pandey, V. K., Dar, A. H., Tripathi, A., & Singh, R. (2022). A descriptive review on nutraceutical constituents, detoxification methods and potential health benefits of flaxseed. *Applied Food Research*, 2(2), 100239. <https://doi.org/10.1016/j.afres.2022.100239>. EDN: <https://elibrary.ru/ZVKLID>
23. Saka, M., Özkaya, B., & Saka, İ. (2021). The effect of bread-making methods on functional and quality characteristics of oat bran blended bread. *International Journal of Gastronomy and Food Science*, 26, 100439. <https://doi.org/10.1016/j.ijgfs.2021.100439>. EDN: <https://elibrary.ru/ABVJYR>
24. Sharma, M., Dadhwal, K., Gat, Y., Kumar, V., Panghal, A., Prasad, R., ... & Gat, P. (2019). A review on newer techniques in extraction of oleaginous flaxseed constituents. *OCL*, 26, 14. <https://doi.org/10.1051/ocl/2019006>
25. Yang, J., Duan, Y., Zhang, H., Huang, F., Wan, C., Cheng, C., ... & Deng, Q. (2023). Ultrasound coupled with weak alkali cycling-induced exchange of free sulfhydryl-disulfide bond for remodeling interfacial flexibility of flaxseed protein isolates. *Food Hydrocolloids*, 140, 108597. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2023.108597>. EDN: <https://elibrary.ru/TOVBKX>
26. Zhong, L., Ma, N., Wu, Y., Zhao, L., Ma, G., Pei, F., & Hu, Q. (2019). Characterization and functional evaluation of oat protein isolate-*Pleurotus ostreatus* β -glucan conjugates formed via Maillard reaction. *Food Hydrocolloids*, 87, 459–469. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2018.08.034>. EDN: <https://elibrary.ru/VILHAW>

References

1. Alekhina, N. N., Ponomareva, E. I., Zharkova, I. M., & Grebenshchikov, A. V. (2021). Evaluation of the functional properties and safety indicators of grain bread with amaranth flour. *Tekhnika i Tekhnologiya Pishchevykh Proizvodstv* [Technique and Technology of Food Production], 51(2), 323–332. <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2021-2-323-332>. EDN: <https://elibrary.ru/BSQLEY>
2. GOST 21094-2022. *Bakery products. Methods for determining moisture content*. Moscow: Publishing House of Standards, 2022. 11 p.
3. GOST 5669-96. *Bakery products. Method for determining porosity*. Moscow: Publishing House of Standards, 2006. 2 p.
4. GOST 5670-96. *Bakery products. Methods for determining acidity*. Moscow: Publishing House of Standards, 1997. 5 p.
5. GOST 58233-2018. *Wheat flour bread. Specifications*. Moscow: Publishing House of Standards, 2019. 14 p.
6. Zharkova, I. M., Roslyakov, Yu. F., & Ivanchikov, D. S. (2023). Spontaneous (natural) fermentation starters: features of the technology and their role in modern bakery production. *Tekhnika i Tekhnologiya Pishchevykh Proizvodstv* [Technique and Technology of Food Production], 53(3), 525–544. <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2023-3-2455>. EDN: <https://elibrary.ru/LQEJER>
7. Kandrov, R. Kh., Katin, S. A., Sivtsev, A. O., Ver'miev, D. N., & Pestova, E. V. (2025). Use of whole-ground wheat-triticale flour for the production of bakery products. *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*, 17(1), 518–543. <https://doi.org/10.12731/2658-6649-2025-17-1-1084>. EDN: <https://elibrary.ru/ZPRLTT>
8. Kolpakova, D. E. (2025). Potential of plant raw materials in functional breadmaking. *Vestnik Yuzhno-Uralskogo Gosudarstvennogo Universiteta. Seriya: Pishcheve i Biotekhnologii* [Bulletin of the South Ural State University. Series: Food and Biotechnology], 13(1), 19–29. <https://doi.org/10.14529/food250103>. EDN: <https://elibrary.ru/EAYZUK>
9. Trusova, M. M., & Pavlova, O. V. (2020). Development of a combined sorbent for stabilizing the colloidal system of fermented beverages. *Pishchevaya Promyshlennost': Nauka i Tekhnologii* [Food Industry: Science and Technology], 4(13), 103–110. [https://doi.org/10.47612/2073-4794-2020-13-4\(50\)-103-110](https://doi.org/10.47612/2073-4794-2020-13-4(50)-103-110). EDN: <https://elibrary.ru/FKKMND>
10. Bartkiene, E., Schleining, G., Juodeikiene, G., Vidmantienė, D., Krungleviciute, V., Rekštyte, T., ... & Maruska, A. (2014). The influence of lactic acid fermentation on biogenic amines and volatile compounds formation in flaxseed and the effect of flaxseed sourdough on the quality of wheat bread. *LWT — Food Science and Technology*, 56(2), 445–450. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2013.11.033>

11. Cao, H., Gao, F., Shen, H., Su, Q., Guan, X., Sun, Z., & Yu, Z. (2023). Influence of partial substitution of wheat flour with sprouted oat flours on physicochemical and textural characteristics of wheat bread. *Journal of Cereal Science*, 110, 103649. <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2023.103649>. EDN: <https://elibrary.ru/EGHQZE>
12. Gu, Y., Qian, X., Sun, B., Ma, S., Tian, X., & Wang, X. (2022). Nutritional composition and physicochemical properties of oat flour sieving fractions with different particle size. *Lebensm. Wiss. Technol*, 154, 113266. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2022.113266>. EDN: <https://elibrary.ru/VBTQYK>
13. Kandrov, R. Kh., Bekshokov, K. S., & Bekshokova, P. A. (2024). Amaranth grain processing products as sources of plant protein, starch, fat, and antioxidant. *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*, 16(2), 403–430. <https://doi.org/10.12731/2658-6649-2024-16-2-824>. EDN: <https://elibrary.ru/DHZGBY>
14. Kaur, M., Kaur, R., & Gill, B. S. (2017). Mineral and amino acid contents of different flaxseed cultivars in relation to its selected functional properties. *Food Measure*, 11, 500–511. <https://doi.org/10.1007/s11694-016-9417-x>. EDN: <https://elibrary.ru/QPLYZZ>
15. Kauser, S., Hussain, A., Ashraf, S., Fatima, G., Ambreen, Javaria, S., ... & 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>. EDN: <https://elibrary.ru/UMVZPF>
16. Martínez-Villaluenga, C., & Peñas, E. (2017). Health benefits of oat: Current evidence and molecular mechanisms. *Current Opinion in Food Science*, 14, 26–31. <https://doi.org/10.1016/j.cofs.2017.01.004>
17. Mel, R., & Malaloda, M. (2021). Oat protein as a novel protein ingredient: Structure, functionality, and factors impacting utilization. *Cereal Chemistry*, 99(1), 21–36. <https://doi.org/10.1002/cche.10488>. EDN: <https://elibrary.ru/YSPHYA>
18. Nieto-Nieto, T. V., Wang, Y. X., Ozimek, L., & Chen, L. (2015). Inulin at low concentrations significantly improves the gelling properties of oat protein—A molecular mechanism study. *Food Hydrocolloids*, 50, 116–127. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2015.03.031>
19. Noreen, S., Tufail, T., Bader Ul Ain, H., Ali A., Aadil, R. M., Nemat, A., & Manzoor, M. F. (2023). Antioxidant activity and phytochemical analysis of fennel seeds and flaxseed. *Food Sci Nutr*, 11(3), 1309–1317. <https://doi.org/10.1002/fsn3.3165>. EDN: <https://elibrary.ru/FEGXMG>
20. Nowak, W., & Jeziorek, M. (2023). The role of flaxseed in improving human health. *Healthcare*, 11(3), 395. <https://doi.org/10.3390/healthcare11030395>. EDN: <https://elibrary.ru/MSVAZT>
21. Plissonneau, C., Sivignon, A., Chassaing, B., Capel, F., Martin, V., Etienne, M., ... & Barnich, N. (2022). Beneficial effects of linseed supplementation on gut muco-

- sa-associated microbiota in a physically active mouse model of Crohn's disease. *International Journal of Molecular Sciences*, 23(11), 5891. <https://doi.org/10.3390/ijms23115891>. EDN: <https://elibrary.ru/AEYUYV>
22. Rizvi, Q.-H., Shams, R., Pandey, V. K., Dar, A. H., Tripathi, A., & Singh, R. (2022). A descriptive review on nutraceutical constituents, detoxification methods and potential health benefits of flaxseed. *Applied Food Research*, 2(2), 100239. <https://doi.org/10.1016/j.afres.2022.100239>. EDN: <https://elibrary.ru/ZVKLID>
23. Saka, M., Özkaya, B., & Saka, İ. (2021). The effect of bread-making methods on functional and quality characteristics of oat bran blended bread. *International Journal of Gastronomy and Food Science*, 26, 100439. <https://doi.org/10.1016/j.ijgfs.2021.100439>. EDN: <https://elibrary.ru/ABVJYR>
24. Sharma, M., Dadhwal, K., Gat, Y., Kumar, V., Panghal, A., Prasad, R., ... & Gat, P. (2019). A review on newer techniques in extraction of oleaginous flaxseed constituents. *OCL*, 26, 14. <https://doi.org/10.1051/ocl/2019006>
25. Yang, J., Duan, Y., Zhang, H., Huang, F., Wan, C., Cheng, C., ... & Deng, Q. (2023). Ultrasound coupled with weak alkali cycling-induced exchange of free sulfhydryl-disulfide bond for remodeling interfacial flexibility of flaxseed protein isolates. *Food Hydrocolloids*, 140, 108597. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2023.108597>. EDN: <https://elibrary.ru/TOVBKX>
26. Zhong, L., Ma, N., Wu, Y., Zhao, L., Ma, G., Pei, F., & Hu, Q. (2019). Characterization and functional evaluation of oat protein isolate-*Pleurotus ostreatus* β -glucan conjugates formed via Maillard reaction. *Food Hydrocolloids*, 87, 459–469. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2018.08.034>. EDN: <https://elibrary.ru/VILHAW>

ВКЛАД АВТОРОВ

Колпакова Д.Е.: разработка концепции исследования, формулировка ключевых целей и задач; проведение исследований, подготовка и редактирование текста рукописи.

Naik A.: проведение исследований, подготовка текста рукописи.

Плешивцев И.И.: проведение исследований, подготовка текста рукописи.

Милентьева И.С.: проведение статистического анализа, редактирование статьи с целью повышения ее научной значимости.

Асякина Л.К.: редактирование статьи с целью повышения ее научной значимости, утверждение окончательного варианта статьи для публикации.

AUTHOR CONTRIBUTIONS

Daria E. Kolpakova: development of the research concept, formulation of key goals and objectives; conducting research, preparation, and editing of the manuscript text.

Adarsh Naik: conducting research, preparation of the manuscript text.

Ivan I. Pleshivtsev: conducting research, preparation of the manuscript text.

Irina S. Milentyeva: conducting statistical analysis, editing the article to enhance its scientific significance.

Lyudmila K. Asyakina: editing the article to enhance its scientific significance, approval of the final version of the article for publication.

ДАННЫЕ ОБ АВТОРАХ

Колпакова Дарья Евгеньевна, аспирант, младший научный сотрудник молодежной лаборатории НИУ, ассистент кафедры бионанотехнологии
*ФГБОУ ВО «Кемеровский государственный университет»
ул. Красная, 6, г. Кемерово, 650000, Российская Федерация
kolpakova1205@mail.ru*

Adarsh Naik, аспирант
*ФГБОУ ВО «Кемеровский государственный университет»
ул. Красная, 6, г. Кемерово, 650000, Российская Федерация
tinkforeveradarshh@gmail.com*

Плешивцев Иван Игоревич, аспирант
*ФГБОУ ВО «Кемеровский государственный университет»
ул. Красная, 6, г. Кемерово, 650000, Российская Федерация
ivanpleshivsev@gmail.com*

Милентьева Ирина Сергеевна, доктор технических наук, доцент, профессор кафедры бионанотехнологии, заведующий молодежной лабораторией
*ФГБОУ ВО «Кемеровский государственный университет»
ул. Красная, 6, г. Кемерово, 650000, Российская Федерация
irazumnikova@mail.ru*

Асыкина Людмила Константиновна, доктор технических наук, доцент, профессор кафедры бионанотехнологии, заведующий молодежной лабораторией
*ФГБОУ ВО «Кемеровский государственный университет»
ул. Красная, 6, г. Кемерово, 650000, Российская Федерация
alk_kem@kemsu.ru*

DATA ABOUT THE AUTHORS

Daria E. Kolpakova, Postgraduate Student, Junior Research Fellow at the Youth Laboratory, Assistant at the Department of Bionanotechnology
Kemerovo State University

6, Krasnaya Str., Kemerovo, 650000, Russian Federation
kolpakova1205@mail.ru
SPIN-code: 5576-4258
ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-8508-3372>
Scopus Author ID: 58860788800

Adarsh Naik, Postgraduate Student

Kemerovo State University
6, Krasnaya Str., Kemerovo, 650000, Russian Federation
tinkforeveradarshh@gmail.com

Ivan I. Pleshivtsev, Postgraduate Student at the Department of Bionanotechnology

Kemerovo State University
6, Krasnaya Str., Kemerovo, 650000, Russian Federation
ivanpleshivsev@gmail.com
SPIN-code: 5774-4748
ORCID: <http://orcid.org/0009-0006-4085-4045>

Irina S. Milentyeva, Doctor of Technical Sciences, Associate Professor, Professor of the Department of Bionanotechnology, Head of the Youth Laboratory

Kemerovo State University
6, Krasnaya Str., Kemerovo, 650000, Russian Federation
irazumnikova@mail.ru
SPIN-code: 8227-2844
ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-3536-562X>
Scopus Author ID: 57041280000

Lyudmila K. Asyakina, Doctor of Technical Sciences, Associate Professor, Professor of the Department of Bionanotechnology, Head of the Youth Laboratory

Kemerovo State University
6, Krasnaya Str., Kemerovo, 650000, Russian Federation
alk_kem@kemsu.ru
SPIN-code: 4479-3384
ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-4988-8197>
Scopus Author ID: 57041180800

Поступила 05.10.2025

После рецензирования 09.11.2025

Принята 12.11.2025

Received 05.10.2025

Revised 09.11.2025

Accepted 12.11.2025