

Исследование влияния белковой композиции на качественные показатели хлеба

О. В. Зинина^{1✉}, О. П. Неверова¹, Я. Ли², Ф. Чжан², М. Б. Ребезов³

¹ Уральский государственный аграрный университет, Екатеринбург, Россия

² Северо-Восточный сельскохозяйственный университет, Харбин, Китай

³ Федеральный научный центр пищевых систем им. В. М. Горбатова, Москва, Россия

✉ E-mail: zinoks-vl@mail.ru

Аннотация. Рост спроса на функциональные и специализированные продукты предопределяет расширение ассортимента данной продукции, в том числе хлебобулочных изделий, как основного продукта питания в потребительской корзине. Одним из направлений улучшения состава хлеба является введение в состав растительных белков. Однако большинство растительных белков имеет определенные недостатки в своем аминокислотном составе, что приводит к неполноценному питанию. **Научная новизна** работы заключается в получении новых научных данных о влиянии белковой композиции из разных растительных белков на качественные показатели и биологическую ценность хлеба. **Целью исследований** является установление влияния оптимизированной по аминокислотному составу белковой композиции на качественные показатели хлеба. **Методы исследований.** Для получения белковой композиции с оптимальным аминокислотным составом использовали конопляный, соевый, льняной, подсолнечный и тыквенный белки. Состав белковых композиций оптимизировали с использованием симплекс-метода с установлением линейных ограничений на искомые переменные и поиском экстремума линейной целевой функции – аминокислотного сора лизина как наиболее дефицитного в растительных белках. Полученные белковые композиции добавляли в состав хлеба пшеничного взамен 10 % муки пшеничной хлебопекарной высшего сорта. У опытных образцов хлеба определяли органолептические и физико-химические показатели по общепринятым методикам. **Результаты.** Установлено, что в опытных образцах хлеба существенно увеличилось содержание белка (до 59,8 % по отношению к контрольному образцу), при этом содержание жира и влаги изменялось незначительно. При этом все образцы по исследуемым показателям оказались в пределах нормируемых значений согласно ГОСТ Р 58233-2018. Результаты органолептических исследований позволили установить приемлемость опытных образцов хлеба: вкус и запах оставались приятными, несмотря на специфические органолептические свойства используемых белков, существенно изменился только цвет хлеба по сравнению с контрольным образцом. Таким образом, результаты исследований показали перспективность комбинирования различных растительных белков и введения полученных композиций в состав хлебобулочных изделий для повышения пищевой и биологической ценности.

Ключевые слова: аминокислотный состав, незаменимые аминокислоты, конопляный белок, соевый белок, льняной белок, подсолнечный белок, тыквенный белок

Для цитирования: Зинина О. В., Неверова О. П., Ли Я., Чжан Ф., Ребезов М. Б. Исследование влияния белковой композиции на качественные показатели хлеба // Аграрный вестник Урала. 2025. Т. 25, № 03. С. 434–448. <https://doi.org/10.32417/1997-4868-2025-25-03-434-448>.

Дата поступления статьи: 23.12.2024, **дата рецензирования:** 13.01.2025, **дата принятия:** 15.01.2025.

Research the effect of protein composition on qualitative indicators of bread

O. V. Zinina^{1✉}, O. P. Neverova¹, Y. Li², F. Zhang², M. B. Rebezov³

¹ Ural State University, Ekaterinburg, Russia

² Northeast Agricultural University, Harbin, China

³ V. M. Gorbatov Federal Research Center for Food Systems, Moscow, Russia

✉E-mail: zinoks-vl@mail.ru

Abstract. The growing demand for functional and specialized products predetermines the expansion of the range of these products, including bakery products, as the main food product in the consumer basket. One of the areas of improving the composition of bread is the introduction of plant proteins into the composition. However, most plant proteins have certain deficiencies in their amino acid composition, which leads to malnutrition. **The scientific novelty** of the study lies in obtaining new scientific data on the influence of protein composition from different plant proteins on the quality indicators and biological value of bread. **The purpose** of the research is to establish the effect of a protein composition optimized for the amino acid composition on the quality indicators of bread. **Research methods.** Hemp, soy, flax, sunflower, and pumpkin proteins were used to obtain a protein composition with an optimal amino acid composition. The protein compositions were optimized using the simplex method with the establishment of linear constraints on the desired variables and the search for the extremum of the linear objective function – the amino acid score of lysine, as the most deficient in plant proteins. The resulting protein compositions were added to the composition of wheat bread instead of 10 % of premium wheat flour. The experimental bread samples were tested for sensory and physicochemical parameters using generally accepted methods. **Results.** The results of the researches of the obtained bread samples showed that the protein content increased significantly (up to 59.8 % compared to the control sample), while the fat and moisture content changed insignificantly. At the same time, all samples were within the standard values according to GOST R 58233-2018 for the studied parameters. The results of the sensory studies made it possible to establish the acceptability of the experimental bread samples: the taste and smell remained pleasant, despite the specific sensory properties of the proteins used, only the color of the bread changed significantly compared to the control sample. Thus, the research results showed the promise of combining various plant proteins and introducing the resulting compositions into bakery products to increase their nutritional and biological value.

Keywords: amino acid composition, essential amino acids, hemp protein, soy protein, flax protein, sunflower protein, pumpkin protein

For citation: Zinina O. V., Neverova O. P., Li Y., Zhang F., Rebezov M. B. Research the effect of protein composition on qualitative indicators of bread. *Agrarian Bulletin of the Urals*. 2025; 25 (03): 434–448. <https://doi.org/10.32417/1997-4868-2025-25-03-434-448>. (In Russ.)

Date of paper submission: 23.12.2024, **date of review:** 13.01.2025, **date of acceptance:** 15.01.2025.

Постановка проблемы (Introduction)

Уже многие годы на рынке пищевой продукции сохраняется тренд здорового питания. Все большее число потребителей отдает предпочтение натуральным и органическим, специализированным, обогащенным и функциональным продуктам [1; 2]. В то же время одним из основных продуктов в потребительской корзине традиционно остаются хлеб и хлебобулочные изделия. Производители данной продукции также, следуя мировым тенденциям, совершенствуют рецептуры, делая хлебобулочные изделия более полезным продуктом [3]. Помимо введения в состав хлеба витаминов и минеральных веществ, биологически активных компонентов, замены пшеничной муки нетрадиционными видами растительного сырья, актуальными являются разработки высокобелкового хлеба [4; 5].

Белок является незаменимым макронутриентом. Выполняя многочисленные жизненно важные функции в организме человека, белок и содержащиеся в нем аминокислоты играют важную роль в питании [6; 7]. Рекомендуемая суточная норма потребления белка (RDA) для здоровых взрослых составляет около 0,8 г/кг массы тела. RDA меняется в зависимости от возраста, физического состояния и физиологической среды. Например, спортсменам необходимо потреблять больше белка, чем обычным людям (около 1,2–1,6 г/кг массы тела) для поддержания организма при высокоинтенсивных тренировках [8; 9]. С повышением осведомленности людей о своем здоровье они больше не удовлетворяются потреблением достаточного количества белка, а уделяют больше внимания его качеству и пищевой ценности.

В качестве источников пищевого белка можно использовать как животный, так и растительный белок [10]. Животный белок обладает более высокой питательной ценностью и является наиболее важным источником пищевого белка для человека. Однако с развитием науки и техники в мире и непрерывным ростом населения, которое, как ожидается, увеличится до 9 миллиардов человек к 2050 году, глобальный спрос на белок продолжает увеличиваться [11]. Производство и переработка животного сырья вызывают ряд этических и экологических проблем, а чрезмерное потребление обработанного мяса людьми увеличивает риск хронических заболеваний, таких как сердечно-сосудистые заболевания, ожирение, рак прямой кишки и т. д. [12; 13]. Поэтому существует острая необходимость в замене белков животного происхождения.

Растительный белок не только питателен и имеет достаточно высокую усвояемость. Препараты растительного белка обладают преимуществами по сравнению с животным белком: высокое содержание белка, низкое содержание жира и отсутствие холестерина и антибиотиков [14]. В то же время растительные белки содержат различные биологически активные вещества, например пептиды, которые обладают антибактериальными, противовоспалительными, гипогликемическими и антиоксидантными свойствами. Исследования показывают, что употребление большего количества растительных белков может эффективно предотвращать рак, сердечно-сосудистые заболевания, диабет и нарушение липидного обмена [15]. По сравнению с животным белком растительный белок легче производить и перерабатывать, он более экологичен, поэтому является отличной альтернативой животному белку [16].

Одной из самых больших проблем, с которыми сталкивается современная переработка пищевых продуктов, является большое количество отходов и побочных продуктов, образующихся в процессе переработки. Они часто выбрасываются или используются в качестве корма для животных. Большое количество белков, жиров, пищевых волокон, углеводов и различных биологически активных веществ имеют соответствующие функции или питательные свойства и могут быть повторно использованы или переработаны и добавлены в пищу [17]. Извлечение растительного белка из побочных продуктов и отходов, образующихся в процессе переработки растений, является надежным и эффективным решением для устойчивого использования, которое может не только удовлетворить растущий спрос на белок во всем мире, но и способствовать сокращению пищевых отходов и снижению нагрузки на природную окружающую среду, что соответствует принципам циркулярной экономики и устойчивого развития [18; 19].

Однако большинство растительных белков имеет определенные недостатки в своем аминокислотном составе, что приводит к неполноценному питанию. Например, соевый белок и некоторые другие растительные белки имеют низкое содержание серосодержащих аминокислот, а некоторые белки злаков имеют низкое содержание триптофана, треонина и лизина. Также известно, что растительные белки могут содержать антипитательные факторы. Обозначенные проблемы в определенной степени ограничивают применение растительных белков [6; 20].

К распространенным растительным белкам в основном относятся белки, полученные из бобовых (соя, гороха, нута и др.), зерновых (пшеницы, риса, овса и др.) и масличных семян (льняного, кунжутного, конопляного, тыквенного и др.) [15]. Комбинируя различные растительные белки, можно оптимизировать аминокислотный состав смеси, получая полноценный белковый компонент с превосходной пищевой ценностью [21].

Рассмотрим некоторые перспективные источники белка, которые возможно комбинировать с целью получения белковых смесей с достаточным содержанием всех незаменимых аминокислот.

Соевый белок

Соевые бобы относятся к семейству бобовых и являются одной из важнейших масличных культур в России [22]. Содержание белка в сое составляет 30–40 %, жиров – 18–20%, а общее количество растворимых/нерастворимых углеводов составляет – 25–30 % [23; 24]. Соевые бобы не только богаты различными питательными веществами, но также содержат множество биологически активных веществ, таких как изофлавоны, фитостерины и лецитин [24]. Соевый белок можно разделить на обезжиренный соевый шрот (50–55 %), концентрат соевого белка (65–70 %) и изолят соевого белка (85–90 %) в зависимости от содержания белка. Он является наиболее часто используемым сырьем для текстурированного растительного белка благодаря таким свойствам, как гелеобразование, пенообразование и эмульгирование. В то же время соевый белок сбалансирован по питательной ценности, его усвояемость уступает только животному белку, он содержит все незаменимые аминокислоты и различные биологические активные пептиды, поэтому концентрат соевого белка и изолят соевого белка уже давно используются в различных пищевых продуктах для замены животных белков [25]. Однако соевый белок имеет низкое содержание серосодержащих аминокислот (цистеина и метионина), а также содержит природные антипитательные факторы, такие как фитиновая кислота и дубильные вещества. Он также содержит аллергенные факторы и бобовый запах, что ограничивает дальнейшее развитие разработки и применения соевого белка [26].

Конопляный белок

Конопля (каннабис) – однолетнее растение семейства конопляных. Оно имеет долгую историю использования в медицинских и текстильных целях. В настоящее время широко культивируется в Европе, Китае и Центральной Азии [27]. Психоактивный компонент тетрагидроканнабинол (ТГК) является основной причиной ограничения применения каннабиса. Промышленно выращивают нетоксичные виды конопли, которые используют в производстве продуктов питания [28]. Семена конопли богаты питательными веществами и содержат около 20–25 % белка, 25–35 % жира (в основном полиненасыщенные жирные кислоты), 25–30 % углеводов и 10–15 % нерастворимой клетчатки [29]. Белок конопли экстрагируется из обезжиренной конопляной муки, побочного продукта экстракции масла семян конопли, и в основном состоит из конопляного глобулина и альбумина [30]. Белок конопли содержит 9 незаменимых аминокислот и особенно богат аргинином (около 12 %), который способствует здоровью сердечно-сосудистой системы человека, а также большое количество серосодержащих аминокислот (3,5–5,9 %). Данный белок имеет лучшую общую усвояемость (переваривание пепсином и панкреатином), чем соевый белок, гипоаллергенен и является высококачественным белком [31]. Хотя белок конопли имеет высокую пищевую ценность, он обладает низкими технологическими свойствами. Поэтому при использовании в текстурированном растительном белке его следует комбинировать с другими растительными белками, чтобы повысить пищевую ценность и улучшить технологические свойства для получения высококачественного текстурированного растительного белка.

Тыквенный белок

Тыква – масличная культура и основная товарная культура, выращиваемая в тропическом и умеренном поясах, все ее части съедобны [32]. Побочными продуктами переработки тыквы обычно являются кожура и семена тыквы. Семена тыквы имеют высокую пищевую ценность. Они богаты питательными веществами и содержат 37–46 % жира, 25–37 % белка и 18–25 % углеводов. Также содержат множество биохимических веществ, таких как фитостеролы, токоферолы, каротин и лютеин, которые оказывают благотворное влияние на здоровье человека [33; 34]. Семена тыквы в основном используются для экстракции масла, но побочные продукты после экстракции масла могут быть использованы в качестве богатого источника тыквенного белка. Некоторые исследования показали, что белок в семенах тыквы обладает антибактериальными, противовоспалительными и гипогликемическими функциями [34]. Белковые фракции муки из семян тыквы содержат полный комплекс аминокислот, в том числе незаменимых, что обуславливает их вы-

сокую биологическую ценность. Лимитирующими аминокислотами являются триптофан, валин, изолейцин и серосодержащие аминокислоты. Таким образом, тыквенный белок имеет большой потенциал развития в применении текстурированного растительного белка и в составе белковых смесей.

Подсолнечный белок

Семена подсолнечника являются одной из пяти крупнейших масличных культур в мире с годовым объемом производства более 50 млн тонн. Они богаты различными питательными веществами, такими как масло (содержание жира может достигать 50 %), белок, витамины и пищевые волокна [35]. Однако применение белков подсолнечника до сих пор ограничивается в основном кормами для животных. Одним из основных ограничений является большое количество в семенах подсолнечника фенольных соединений, которые легко окисляются при обычной щелочной экстракции белка, что приводит к обесцвечиванию и нежелательному зеленому или коричневому цвету белков, а также снижению питательных и функциональных свойств. Присутствие фенольных соединений в концентратах подсолнечного белка также снижает водосвязывающую способность, стабильность эмульсии и твердость геля [36; 37]. Аминокислотный состав подсолнечника относительно хорошо сбалансирован, за исключением умеренного дефицита лизина. Установлено, что семена подсолнечника в основном благодаря своей полифенольной активности обладают значительной антиоксидантной способностью. Два наиболее распространенных запасных белка в семенах подсолнечника – это 11S-глобулины (60–80 %) и 2S-альбумины (20–30 %) [38]. Усвояемость белка из подсолнечного жмыха у свиней варьировались от 72 % до 82 %, у крыс усвояемость аминокислот изолята подсолнечника очень высокая (95 %). По данным исследований, усвояемость данного изолята белка у здоровых людей достигает 90 % [39].

Льняной белок

Лен (*Linum usitatissimum*) – однолетнее травянистое растение, принадлежащее к семейству льновых. Это продовольственная культура, широко распространенная в более прохладных районах мира. Семена льна в основном используются в медицинских целях, а также в качестве источника масла и корма для животных [40]. Льняное семя богато ω -3 жирной кислотой, витамином Е, пищевыми волокнами, лигнанами и другими функциональными питательными веществами. Льняное семя содержит 20–25 % белка и 40–45 % жирных кислот [41; 42]. Белок льняного семени является основным компонентом, составляющим 18–22 % веса семян, в зависимости от сорта и географического происхождения. Белок льняного семени состоит из двух белковых фракций: солерастворимой фракции с высокой молекулярной массой (11S–12S); и водорас-

творимой фракции с низкой молекулярной массой (1,6S–2S). Белок льняного семени богат аспарагиновой кислотой, глутаминовой кислотой, лейцином и аргинином; благодаря своему аминокислотному профилю предполагает потенциальную пользу для здоровья населения, страдающего от недоедания, и людей с аллергией на молочный белок; кроме того, обладает многообещающими функциональными свойствами, такими как высокая эмульгирующая и пенообразующая способность, что делает его привлекательным ингредиентом для пищевой промышленности [43; 44].

Таким образом, растительные белки являются перспективным белковым сырьем для получения полноценных белковых композиций с высокой биологической ценностью. Следуя тенденциям расширения ассортимента продуктов здорового питания, хлеб как традиционный продукт является важным объектом для реализации современных подходов к обогащению продуктов (в том числе белком).

Столкнувшись с проблемами увеличения спроса на белок, вызванного сегодняшним ростом населения, необходимо найти устойчивые источники растительного белка. Большое количество отходов и побочных продуктов, образующихся в процессе современной пищевой промышленности, являются заслуживающими внимания устойчивыми источниками белка, особенно жмыхи и шроты, образующиеся при переработке масличных культур.

В будущем переработку и использование этих побочных продуктов следует увеличить для сокращения отходов ресурсов и достижения устойчивого развития.

Комбинирование различных растительных белков для получения оптимальных по составу композиций в соответствии с потребностями в питании разных групп населения является перспективным направлением.

Целью исследований является установление влияния оптимизированной по аминокислотному составу белковой композиции на качественные показатели хлеба.

Методология и методы исследования (Methods)

Объектами исследования являются:

– белковые композиции, составленные на основе соевого, тыквенного, подсолнечного, конопляного и льняного белков, производимых компанией «Эвофуд» (Пермь, Россия) (рис. 1);

– образцы хлеба с добавлением белковой композиции (опытные образцы) и без добавления (контрольный образец), изготовленные по базовой рецептуре: на 100 г муки пшеничной хлебопекарной высшего сорта 1 г соли пищевой поваренной и 1 г прессованных дрожжей. У опытных образцов 10 % муки пшеничной хлебопекарной высшего сорта заменено белковой композицией.

Состав белковых композиций оптимизировали с использованием симплекс-метода с установлением линейных ограничений на искомые переменные (X_1 – подсолнечный белок, X_2 – льняной белок, X_3 – тыквенный, X_4 – соевый белок, X_5 – конопляный белок) и поиском экстремума линейной целевой функции – аминокислотного сора лизина как наиболее дефицитного в растительных белках (таблица 1).

Исходными данными при решении задачи линейного программирования являлся аминокислотный состав используемых видов белков, установленный производителем, а также данные «идеального» белка согласно данным ФАО ВОЗ [45].

В процессе оптимизации рассчитывался аминокислотный скор каждой незаменимой аминокислоты как отношение количества определенной аминокислоты в белковой смеси к ее количеству в эталонном белке, умноженному на 100 %.

Для введения в состав хлеба выбраны 2 композиции, полученные в результате оптимизации.

В условиях лаборатории кафедры биотехнологии и пищевых продуктов ФГБОУ ВО «Уральский государственный аграрный университет» (Екатеринбург, Россия) получены опытные и контрольный образец хлеба по технологической схеме, представленной на рис. 2.

В ходе исследований проведены 3 выпечки хлеба, по 3 изделия каждого наименования в каждой выпечке.



Рис. 1. Внешний вид используемых растительных белков
Fig. 1. Appearance of the plant proteins used

Таблица 1

Балансовые уравнения оптимизации состава белковой композиции

Показатель	Уравнение
Содержание валина	$6,42X_1 + 5,56X_2 + 5,78X_3 + 4,60X_4 + 2,93X_5 \geq 4,00$
Содержание изолейцина	$5,55X_1 + 4,63X_2 + 4,68X_3 + 4,50X_4 + 2,35X_5 \geq 3,00$
Содержание лейцина	$8,09X_1 + 6,40X_2 + 8,87X_3 + 8,00X_4 + 3,95X_5 \geq 6,10$
Содержание метионина и цистеина	$4,60X_1 + 3,69X_2 + 3,42X_3 + 3,60X_4 + 1,56X_5 \geq 2,30$
Содержание треонина	$4,51X_1 + 3,96X_2 + 3,65X_3 + 3,50X_4 + 1,91X_5 \geq 2,50$
Содержание триптофана	$1,65X_1 + 1,50X_2 + 2,10X_3 + 1,26X_4 + 0,67X_5 \geq 0,66$
Содержание фенилаланина и тирозина	$8,93X_1 + 6,30X_2 + 10,35X_3 + 8,80X_4 + 4,31X_5 \geq 4,10$
Аминокислотный скор лизина (функция цели)	$100 \cdot (4,56X_1 + 4,48X_2 + 4,52X_3 + 6,00X_4 + 2,13X_5) / 4,80 \rightarrow 100$
Формирование единицы продукта	$X_1 + X_2 + X_3 + X_4 + X_5 = 1$

Table 1

Balance equations for optimization of protein composition

Indicator	Equation
Content of valine	$6.42X_1 + 5.56X_2 + 5.78X_3 + 4.60X_4 + 2.93X_5 \geq 4.00$
Content of isoleucine	$5.55X_1 + 4.63X_2 + 4.68X_3 + 4.50X_4 + 2.35X_5 \geq 3.00$
Content of leucine	$8.09X_1 + 6.40X_2 + 8.87X_3 + 8.00X_4 + 3.95X_5 \geq 6.10$
Content of methionine and cysteine	$4.60X_1 + 3.69X_2 + 3.42X_3 + 3.60X_4 + 1.56X_5 \geq 2.30$
Content of threonine	$4.51X_1 + 3.96X_2 + 3.65X_3 + 3.50X_4 + 1.91X_5 \geq 2.50$
Content of tryptophan	$1.65X_1 + 1.50X_2 + 2.10X_3 + 1.26X_4 + 0.67X_5 \geq 0.66$
Content of phenylalanine and tyrosine	$8.93X_1 + 6.30X_2 + 10.35X_3 + 8.80X_4 + 4.31X_5 \geq 4.10$
Lysine amino acid score (target function)	$100 \cdot (4.56X_1 + 4.48X_2 + 4.52X_3 + 6.00X_4 + 2.13X_5) / 4.80 \rightarrow 100$
Formation of a product unit	$X_1 + X_2 + X_3 + X_4 + X_5 = 1$

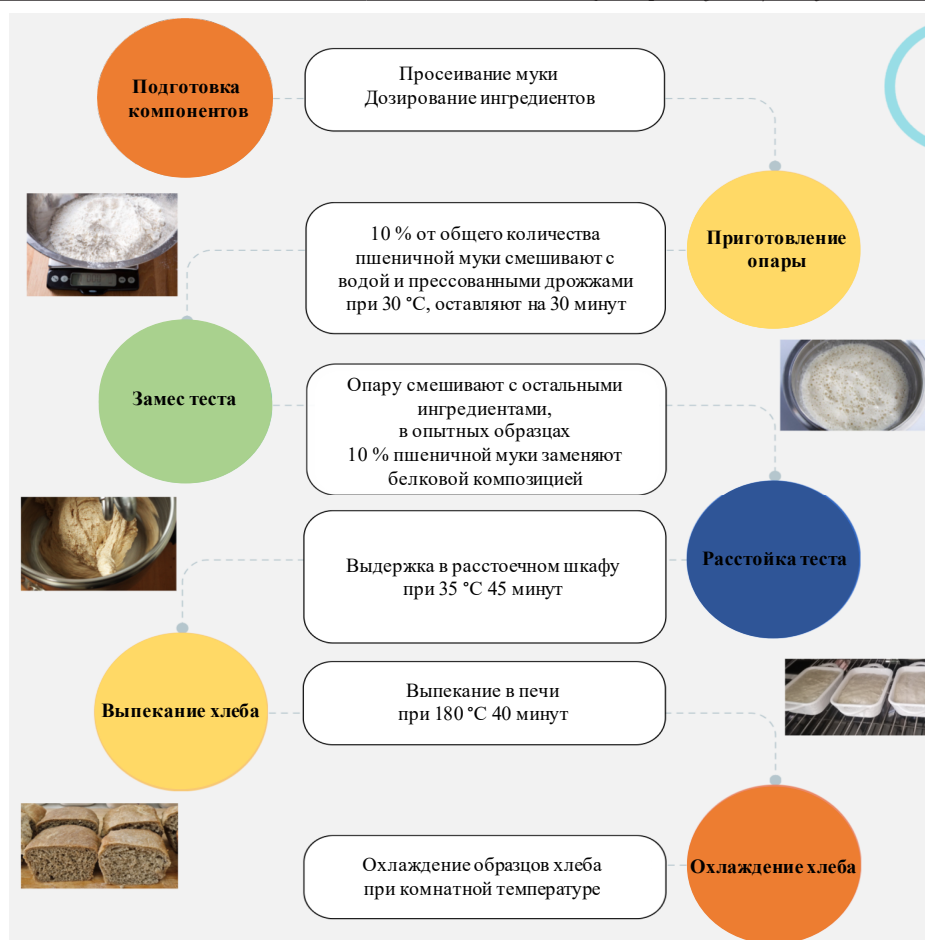


Рис. 2. Технологическая схема получения образцов хлеба



Fig. 2. Technological scheme for obtaining bread samples

Таблица 2
Состав и показатели
белковых композиций

Показатель	Белковая композиция	
	№ 1	№ 2
Состав, %:		
подсолнечный белок	44,54	—
льняной белок	11,88	8,43
тыквенный белок	15,19	5,98
конопляный белок	—	24,46
соевый белок	28,39	61,13
Аминокислотный скор незаменимых аминокислот, %:		
валина	142,6	108,6
изолейцина	167,0	133,2
лейцина	130,9	113,6
метионина и цистеина	175,2	134,7
треонина	161,1	126,4
триптофана	240,9	179,7
фенилаланина и тирозина	214,5	184,9
лизина	103,2	100,8
Массовая доля белка, %	55,49	76,59

Table 2
Composition and indicators
of protein compositions

Indicator	Protein composition	
	No.	No. 2
Ingredients, %:		
sunflower protein	44.54	—
flax protein	11.88	8.43
pumpkin protein	15.19	5.98
hemp protein	—	24.46
soy protein	28.39	61.13
Amino acid score of essential amino acids, %:		
valine	142.6	108.6
isoleucine	167.0	133.2
leucine	130.9	113.6
methionine and cysteine	175.2	134.7
threonine	161.1	126.4
tryptophan	240.9	179.7
phenylalanine and tyrosine	214.5	184.9
lysine	103.2	100.8
Mass fraction of protein, %	55.49	76.59



Контрольный образец хлеба
Control sample of bread



Опытный образец хлеба № 1
Experimental sample of bread No. 1



Опытный образец хлеба № 2
Experimental sample of bread No. 2

Рис. 3. Вид на разрезе образцов хлеба
Fig. 3. Cross-sectional view of bread samples

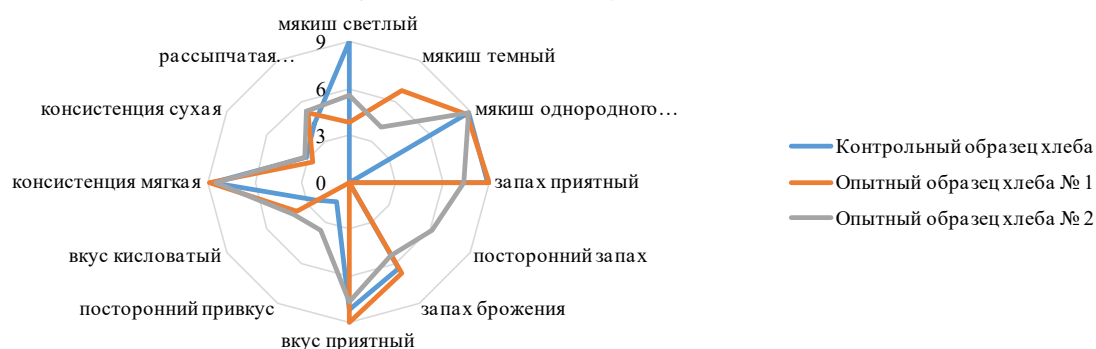


Рис. 4. Результаты дескриптивного тестирования
Fig. 4. Descriptive testing results

Дескриптивное тестирование согласно ГОСТ ISO 6658-2016 применяли для установления отличий органолептических показателей опытных образцов от контрольного неподготовленными испытателями (потенциальными потребителями хлеба). В тестировании принимали участие 12 испытателей, которым было предложено оценить у исследуемых образцов хлеба четыре дескриптора с тремя характеристиками по 9-балльной шкале [46] с равным весом: цвет мякиша (светлый, темный, однородный), запах (приятный, с посторонним запахом, с запахом брожения), вкус (приятный, с посторонним привкусом, кисловатый), консистенция (мягкая, сухая, рассыпчатая).

У образцов хлеба определяли физико-химические показатели согласно ГОСТ Р 58233-2018 «Хлеб из пшеничной муки. Технические условия» по стандартным методикам:

- массовую долю белка – методом Кьельдаля;
- массовую долю жира – по ГОСТ 5668-2022 «Изделия хлебобулочные. Методы определения массовой доли жира»;
- пористость – по ГОСТ 5669-96 «Хлебобулочные изделия. Метод определения пористости»;
- кислотность – по ГОСТ 5669-96 «Хлебобулочные изделия. Методы определения кислотности»;
- влажность мякиша – по ГОСТ 21094-2022 «Изделия хлебобулочные. Методы определения влажности».

Каждое измерение проводили троекратно. Значения вероятности $p \leq 0,05$ приняты для указания статистической значимости. Для статистической обработки экспериментальных данных использовали однофакторный дисперсионный анализ и тест Тьюки.

Таблица 3

Физико-химические показатели образцов хлеба

Показатель	Требование по ГОСТ Р 58233-2018	Значение показателя		
		Контрольный образец	Опытный образец хлеба № 1	Опытный образец хлеба № 2
Массовая доля белка, %	—	10,250 ± 0,377 ^a	14,450 ± 0,448 ^b	16,38 ± 0,493 ^c
Массовая доля жира, %	—	1,650 ± 0,036 ^a	1,670 ± 0,038 ^a	1,620 ± 0,036 ^a
Влажность мякиша, %	Не более 45,0	42,900 ± 0,783 ^a	43,810 ± 0,850 ^a	44,060 ± 0,493 ^a
Пористость, %	Не менее 72,0	72,70 ± 1,79 ^a	74,60 ± 1,86 ^a	75,10 ± 1,74 ^a
Кислотность, град.	Не более 3,0	1,38 ± 0,03 ^a	1,43 ± 0,02 ^a	1,41 ± 0,02 ^a

Примечание. Средние значения в строке без общего надстрочного индекса имеют достоверные различия ($p < 0,05$) при анализе с помощью однофакторного дисперсионного анализа и теста Тьюки.

Table 3

Physico-chemical indicators of bread samples

Indicator	Requirement according to GOST R 58233-2018	Value of indicator		
		Control sample of bread	Experimental sample of bread No. 1	Experimental sample of bread No. 2
Protein content, %	—	10.250 ± 0.377 ^a	14.450 ± 0.448 ^b	16.38 ± 0.493 ^c
Fat content, %	—	1.650 ± 0.036 ^a	1.670 ± 0.038 ^a	1.620 ± 0.036 ^a
Crumb moisture, %	No more 45.0	42.900 ± 0.783 ^a	43.810 ± 0.850 ^a	44.060 ± 0.493 ^a
Porosity, %	No less 72.0	72.70 ± 1.79 ^a	74.60 ± 1.86 ^a	75.10 ± 1.74 ^a
Acidity, degrees	No more 3.0	1.38 ± 0.03 ^a	1.43 ± 0.02 ^a	1.41 ± 0.02 ^a

Note. Mean values in a row without a common superscript are significantly different ($p < 0.05$) when analyzed using one-way ANOVA and Tukey's test.

Результаты (Results)

Получение белковых смесей с оптимальным аминокислотным составом и полным набором незаменимых аминокислот исключительно на основе растительных белков является сложной задачей. В белках бобовых культур дефицитными являются серосодержащие аминокислоты, в белках злаков относительно небольшое содержание треонина, а уровень лизина в растительных белках ниже, чем в животных [47]. Эти аспекты были приняты во внимание при подборе различных видов растительных белков при составлении белковых композиций и определении функции цели (аминокислотный скор лизина) при оптимизации их состава.

Показатели оптимизированных по аминокислотному составу композиций представлены в таблице 2.

После составления белковых смесей в соответствии с полученными рецептурами, вводили их в состав хлеба взамен муки пшеничной хлебопекарной высшего сорта.

Вид на разрезе образцов хлеба представлен на рис. 3.

Все образцы хлеба получились с несколько выпуклой верхней коркой, поверхность без трещин и подрывов с варьированием цвета корки от светло-желтого у контрольного образца до темно-коричневого у опытного образца № 1. Мякиш у всех образцов хлеба пропеченный, эластичный, без комочков и непромеса.

Как видно на рис. 3, пористость более развита у опытных образцов хлеба.

Результаты сравнительного дескриптивного тестирования органолептических показателей представлены на рис. 4.

В целом опытные образцы обладали приятным вкусом и запахом, но цвет более темный, что связано с особенностями используемых видов белков.

Полученные результаты оценки физико-химических показателей позволили выявить существенные различия в содержании белка в опытных образцах хлеба по сравнению с контролем (таблица 3).

Так, в опытном образце № 1 массовая доля белка увеличилась на 40,9 % по сравнению с контрольным образцом, а в опытном образце № 2 – на 59,8 %, что связано с высоким содержанием белка в используемом большем количестве в составе композиции № 2 соевом концентрате. Аналогичные результаты получены при исследовании хлеба с добавлением в хлебопекарную смесь 9,4 г изолята соевого белка на 100 г смеси. Содержание белка повысилось примерно на 60 %, но при этом выявлены лимитирующие аминокислоты метионин и цистеин [48]. При добавлении в хлеб муки из семян конопли содержание белка увеличивалось с 11,11 % в контрольном образце до 18,18 % в образце с заменой 40 % пшеничной муки конопляной [46].

В опытных образцах хлеба отмечена несколько более высокая влажность мякиша, однако полученные значения статистически незначимы ($p < 0,05$). Также не выявлено существенных отличий между образцами по таким показателям, как массовая доля жира, пористость и кислотность. При этом все образцы по исследуемым показателям оказались в

пределах нормируемых значений согласно ГОСТ Р 58233-2018. Введение в состав хлеба 10 % муки из семян конопли показало похожие результаты, пористость значительно не изменилась по сравнению с образцом из пшеничной муки и составила 71,89 %, так же как и кислотность, которая установлена на уровне 1,68 град., что, однако, несколько выше, чем у исследуемых нами образцов хлеба [46]. При замене 10 % пшеничной муки в рецептуре хлеба нутовой отмечена пористость на уровне 72,4 %, что оказалось выше, чем у контрольного образца (67,4 %) [49].

Таким образом, результаты исследований показали перспективность комбинирования различных растительных белков и введения полученных композиций в состав хлебобулочных изделий для повышения пищевой и биологической ценности.

Обсуждение и выводы (Discussion and Conclusion)

Для получения белковой композиции с высоким содержанием всех незаменимых аминокислот использовали конопляный, льняной, тыквенный, соевый и подсолнечный белки. Оптимизированы рецептуры белковых композиций с использованием математического моделирования и принятием в качестве функции цели аминокислотного скорализина как наиболее дефицитной аминокислоты в растительном белке.

Полученные белковые композиции вводили в состав хлеба пшеничного взамен муки пшеничной хлебопекарной высшего сорта. Результаты исследований полученных образцов хлеба показали, что существенно увеличилось содержание белка (до 59,8 % по отношению к контрольному образцу), при этом содержание жира и влаги изменялось незначительно.

Результаты органолептических исследований позволили установить приемлемость опытных образцов хлеба: вкус и запах оставались приятными, несмотря на специфические органолептические свойства используемых белков, существенно изменился только цвет хлеба по сравнению с контрольным образцом.

Таким образом, введение белковых композиций из разных видов растительных белков позволяет получить полноценный аминокислотный состав добавки, заменяющей в составе хлебобулочных изделий углеводную составляющую и глютен, преимущественно входящие в состав пшеничной муки.

Также следует отметить богатый витаминно-минеральный состав используемых белковых добавок, что принесет в готовый продукт дополнительные полезные свойства, однако их точное количественное содержание и удовлетворенность суточной потребности являются дальнейшими исследованиями.

Библиографический список

1. Фаткуллин Р. И., Калинина И. В., Науменко Н. В., Попова Н. В., Науменко Е. Е., Иванисова Е., Васильев А. К. Исследование антиоксидантных свойств обогащенных хлебобулочных изделий // *Аграрная наука*. 2022. № 9. С. 167–172. DOI: 10.32634/0869-8155-2022-362-9-167-172.
2. Зинина О. В., Павлова Я. С., Ребезов М. Б., Чанов И. М., Николина А. Д., Нурымхан Г. Н. Разработка и исследование крекера, обогащенного пищевыми волокнами // *Аграрная наука*. 2022. № 9. С. 173–179. DOI: 10.32634/0869-8155-2022-362-9-173-179.
3. Mesta-Corral M., Gómez-García R., Balagurusamy N., Torres-León C., Hernández-Almanza A. Y. Technological and Nutritional Aspects of Bread Production: An Overview of Current Status and Future Challenges // *Foods*. 2024. Vol. 13. Article number 2062. DOI: 10.3390/foods13132062.
4. Рустемова А. Ж., Ребезов М. Б. Зернобобовая смесь как перспективный сырьевой источник в технологии хлебопечения // *Аграрная наука*. 2023. № 6. С. 121–125. DOI: 10.32634/0869-8155-2023-371-6-121-125.
5. Рустемова А. Ж., Ребезов М. Б. Применение зернобобовой смеси для хлебобулочных изделий // *Аграрная наука*. 2023. № 1 (8). С. 137–142. DOI: 10.32634/0869-8155-2023-373-8-137-142.
6. Langyan S., Yadava P., Khan F. N., Dar Z. A., Singh R., Kumar A. Sustaining protein nutrition through plant-based foods // *Frontiers in Nutrition*. 2022. Vol. 8. Article number 772573. DOI: 10.3389/fnut.2021.772573.
7. Зайцева Н. В., Зеленкин С. Е., Суворов Д. В., Шур П. З., Лир Д. Н., Цао Ц. Х., Нгуен К. Х. Сравнительная характеристика аминокислотного состава белка из традиционных источников и энтомопротеина: расчетные данные // *Вопросы питания*. 2023. № 92 (5). С. 39–47. DOI: 10.33029/0042-8833-2023-92-5-39-47.
8. Ferrari L., Panaite S. A., Bertazzo A., Visioli F. Animal- and plant-based protein sources: a scoping review of human health outcomes and environmental impact // *Nutrients*. 2022. Vol. 14 (23). Article number 5115. DOI: 10.3390/nu14235115.
9. Gavrilova N., Chernopolskaya N., Rebezov M., Schetinina E., Dogareva N., Likhodeevskaya O., Knysh I., Sanova Z. Specialized sports nutrition foods: review // *International Journal of Pharmaceutical Research*. 2020. Vol. 12 (2). Pp. 998–1003. DOI: 110.31838/IJPR/2020.12.02.0152.
10. Полубесова М. А., Мечтаева Е. В., Мещеряков А. А., Журавлева А. З., Ситнов В. Ю., Чернов А. Д. Альтернативные источники белка: основные характеристики, экологичность и безопасность // *Пищевая промышленность*. 2024. 1. С. 39–46. DOI: 10.52653/PPI.2024.1.1.007.

11. Hadidi M., Aghababaei F., McClements D. J. Enhanced alkaline extraction techniques for isolating and modifying plant-based proteins // *Food Hydrocolloids*. 2023. Vol. 145 (5). Article number 109132. DOI: 10.1016/j.foodhyd.2023.109132.
12. Cotacallapa-Sucapuca M., Vega E. N., Maievas H. A., Berrios J. J., Morales P., Fernández-Ruiz V., Cámara M. Extrusion process as an alternative to improve pulses products consumption: a review // *Foods*. 2021. Vol. 10 (5). Article number 1096. DOI: 10.3390/foods10051096.
13. Zhang J., Chen Q., Kaplan D. L., Wang Q. High-moisture extruded protein fiber formation toward plant-based meat substitutes applications: Science, technology, and prospect // *Trends in Food Science & Technology*. 2022. Vol. 128. Pp. 202–216. DOI: 10.1016/j.tifs.2022.08.008.
14. Su T., Le B., Zhang W., Bak K. H., Soladoye P. O., Zhao Z., Zhao Y., Fu Y., Wu W. Technological challenges and future perspectives of plant-based meat analogues: From the viewpoint of proteins // *Food Research International*. 2024. Vol. 186. Article number 114351. DOI: 10.1016/j.foodres.2024.114351.
15. Zhang M., Wang O., Cai S., Zhao L., Zhao L. Composition, functional properties, health benefits and applications of oilseed proteins: a systematic review // *Food Research International*. 2023. Vol. 171. Article number 113061. DOI: 10.1016/j.foodres.2023.113061.
16. Rebezov M., Usman Khan M., Bouyahya A., Imran M., Tufail T., Loretts O., Neverova O., Artyukhova S., Kuznetsova E., Ermolaev V., Balahbib A., Thiruvengadam M., Zengin G., Shariati M. Nutritional and technical aspect of tiger nut and its micro-constituents: an overview // *Food Reviews International*. 2021. Vol. 39 (6). Pp. 3262–3282. DOI: 10.1080/87559129.2021.2011910.
17. Ceclu L., Nistor O., Mocanu G. Pumpkin-health benefits // *Journal of Agroalimentary Processes and Technologies*. 2020. Vol. 26. Pp. 241–246.
18. Nargotra P., Sharma V., Tsai M. L., Hsieh S. L., Dong C. D., Wang H. M. D., Kuo Ch. H. Recent advancements in the valorization of agro-industrial food waste for the production of nanocellulose // *Applied Sciences*. 2023. Vol. 13 (10). Article number 6159. DOI: 10.3390/app13106159.
19. Qi X., Zhang Y., Yu H., Xie J. Research on the Properties of Polysaccharides, Starch, Protein, Pectin, and Fibre in Food Processing // *Foods*. 2023. Vol. 12. Article number 249. DOI: 10.3390/foods12020249.
20. Фролов Д. И., Назарова Е. И. Пищевые и антипитательные вещества семян фасоли // *Инновационная техника и технология*. 2023. № 10 (4). С. 32–37.
21. Гурьева А. В., Рожкова М. Н. Обзор сырьевых источников, применимых для разработки продуктов на растительной основе: критерии выбора для сбалансированного состава // *Пищевая промышленность*. 2022. № 1. С. 59–62. DOI: 10.52653/PPI.2022.1.1.013.
22. Поморова Ю. Ю., Пятовский В. В., Бескоровайный Д. В., Болховитина Ю. С. Характеристика, методы выделения белковой фракции семян основных масличных культур (обзор) // *Масличные культуры*. 2019. № 4 (180). С. 161–169. DOI: 10.25230/2412-608X-2019-4-180-161-169.
23. Tan S. T., Shin T. S., Xuan T. C. Soy protein, bioactive peptides, and isoflavones: a review of their safety and health benefits // *Pharma-Nutrition*. 2023. Vol. 25. Article number 100352. DOI: 10.1016/j.phanu.2023.100352.
24. Huang Z., Qu Y., Hua X., Wang F., Jia X., Yin L. Recent advances in soybean protein processing technologies: a review of preparation, alterations in the conformational and functional properties // *International Journal of Biological Macromolecules*. 2023. Vol. 248. Article number 125862. DOI: 10.1016/j.ijbiomac.2023.125862.
25. Wang Y., Lyu B., Fu H., Li J., Ji L., Gong H., Zhang R., Liu J., Yu H. The development process of plant-based meat alternatives: Raw material formulations and processing strategies // *Food Research International*. 2023. Article number 112689. DOI: 10.1016/j.foodres.2023.112689.
26. Webb D., Li Y., Alavi S. Chemical and physicochemical features of common plant proteins and their extrudates for use in plant-based meat // *Trends in Food Science & Technology*. 2022. Vol. 131 (1). Pp. 129–138. DOI: 10.1016/j.tifs.2022.11.006.
27. Серков В. А., Смирнов А. А., Александрова М. Р. История коноплеводства в России // *Масличные культуры. Научно-технический бюллетень Всероссийского научно-исследовательского института масличных культур*. 2018. № 3 (175). С. 132–141. DOI: 10.25230/2412-608X-2018-3-175-132-141.
28. Aloo S. O., Mwititi G., Ngugi L. W., Oh D. H. Uncovering the secrets of industrial hemp in food and nutrition: The trends, challenges, and new-age perspectives // *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*. 2022. Vol. 64 (11). DOI: 10.1080/10408398.2022.2149468.
29. Chen H., Xu B., Wang Y., Li W., He D., Zhang Y., Zhang X., Xing X. Emerging natural hemp seed proteins and their functions for nutraceutical applications // *Food Science and Human Wellness*. 2023. Vol. 12 (4). Pp. 929–941. DOI: 10.1016/j.fshw.2022.10.016.
30. Odani S., Odani S. Isolation and primary structure of a methionine- and cystine-rich seed protein of *Cannabis sativa* // *Bioscience, Biotechnology, and Biochemistry*. 1998. Vol. 62 (4). Pp. 650–654. DOI: 10.1271/bbb.62.650.

31. Sun X., Sun Y., Li Y., Wu Q., Wang L. Identification and Characterization of the Seed Storage Proteins and Related Genes of *Cannabis sativa* L. // *Frontiers in Nutrition*. 2021. Vol. 8. DOI: 10.3389/fnut.2021.678421.
32. Singh A., Kumar V. Pumpkin seeds as nutraceutical and functional food ingredient for future: A review // *Grain & Oil Science and Technology*. 2024. Vol. 7 (1). Pp. 12–29. DOI: 10.1016/j.gaost.2023.12.002.
33. Aziz A., Noreen S., Khalid W., Ejaz A., Faiz ul Rasool I., Maham, Munir A., Farwa, Javed M., Ercisli S., Okcu Z., Marc R. A., Nayik G. A., Ramniwas S., Uddin J. Pumpkin and pumpkin byproducts: phytochemical constituents, food application and health benefits // *ACS omega*. 2023. Vol. 8 (26). Pp. 23346–23357. DOI: 10.1021/acsomega.3c02176.
34. Wang H., Chen K., Cheng J., Jiang L., Yu D., Dai Y., Wang L. Ultrasound-assisted three phase partitioning for simultaneous extraction of oil, protein and polysaccharide from pumpkin seeds // *LWT*. 2021. Vol. 151. Article number 112200. DOI: 10.1016/j.lwt.2021.112200.
35. Qin N., Nie J., Hou Y., Shuang Q., Bao X. Ultrasound-assisted macroporous resin treatment improves the color and functional properties of sunflower meal protein // *Ultrasonics Sonochemistry*. 2024. Vol. 102 (8). Article number 106750. DOI: 10.1016/j.ultsonch.2023.106750.
36. Pickardt C., Weisz G. M., Eisner P., Kammerer D. R., Neidhart S., Carle R. Processing of low polyphenol protein isolates from residues of sunflower seed oil production // *Procedia Food Science*. 2011. Vol. 1. Pp. 1417–1424. DOI: 10.1016/j.profoo.2011.09.210.
37. Pöri P., Lille M., Edelmann M., Aisala H., Santangelo D., Coda R., Sozer N. Technological and sensory properties of plant-based meat analogues containing fermented sunflower protein concentrate // *Future Foods*. 2023. Vol. 8 (3). Article number 100244. DOI: 10.1016/j.fufo.2023.100244.
38. Tonolo F., Coletta S., Fiorese F., Grinzato A., Albanesi M., Folda A., Ferro S., De Mario A., Piazza I., Mam-mucari C., Arrigoni G., Marin O., Cestonaro G., Nataloni L., Costanzo E., Lodovichi C., Rigobello M. P., Bernard M. Sunflower seed-derived bioactive peptides show antioxidant and anti-inflammatory activity: From *in silico* simulation to the animal model // *Food Chemistry*. 2024. Vol. 439 (1). Article number 138124. DOI: 10.1016/j.foodchem.2023.138124.
39. Tessier R., Calvez J., Airinei G., Khodorova N., Kapel R., Quinsac A., Galet O., Piedcoq J., Benamouz-ig R., Tomé D., Gaudichon C. The True Amino Acid Digestibility of 15N-Labelled Sunflower Biscuits Determined with Ileal Balance and Dual Isotope Methods in Healthy Humans // *The Journal of Nutrition*. 2022. Vol. 152 (3). Pp. 698–706. DOI: 10.1093/jn/nxab423.
40. Hao X. Y., Yu S. C., Mu C. T., Wu X. D., Zhang C. X., Zhao J. X., Zhang J. X. Replacing soybean meal with flax seed meal: effects on nutrient digestibility, rumen microbial protein synthesis and growth performance in sheep // *Animal*. 2020. Vol. 14 (9). Pp. 1841–1848. DOI: 10.1017/S1751731120000397.
41. Xie D. W., Li J., Zhang X. Yu., Dai Zh. G., Zhou W. Zh., Su J. G., Sun J. Systematic analysis of MYB transcription factors and the role of LuMYB216 in regulating anthocyanin biosynthesis in the flowers of flax (*Linum usitatissimum* L.) // *Journal of Integrative Agriculture*. 2023. Vol. 22 (8). Pp. 2335–2345. DOI: 10.1016/j.jia.2023.04.046.
42. Cui Zh., Yan B., Gao Yu., Wu B., Wang Yi., Wang H., Hu P., Zhao B., Cao Z., Zhang Y., Xie Y., Hu Y., Ma X., Niu J. Agronomic cultivation measures on productivity of oilseed flax: A review // *Oil Crop Science*. 2022. Vol. 7 (1). Pp. 53–62. DOI: 10.1016/j.ocsci.2022.02.006.
43. Kaushik P., Dowling K., McKnight S., Barrow C. J., Wang B., Adhikari B. Preparation, characterization and functional properties of flax seed protein isolate // *Food Chemistry*. 2016. Vol. 197 (A). Pp. 212–220. DOI: 10.1016/j.foodchem.2015.09.106.
44. Полосина Е. И., Фролов Д. И. Повышение пищевой ценности пшеничного хлеба путем внесения функциональных добавок // *Инновационная техника и технология*. 2023. № 10 (4). С. 27–31.
45. Dietary protein quality evaluation in human nutrition: report of an FAO Expert Consultation. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations, 2013. 79 p.
46. Capcanari T., Covaliov E., Negoita C., Siminiuc R., Chirsanova A., Reșitca V., Țurcanu D. Hemp Seed Cake Flour as a Source of Proteins, Minerals and Polyphenols and Its Impact on the Nutritional, Sensorial and Technological Quality of Bread // *Foods*. 2023. Vol. 12. Article number 4327. DOI: 10.3390/foods12234327.
47. Юшков С. Разработка комплексного состава растительных белков, имеющего полноценный набор аминокислот // *Бизнес пищевых ингредиентов*. 2018. № 1. С. 22–27.
48. Алехина Н. Н., Пономарева Е. И., Жаркова И. М., Желтикова А. С. Исследование функциональных свойств зернового хлеба на основе хлебопекарных смесей с белковым обогатителем // *Пищевая промышленность*. 2020. № 5. С. 8–12 DOI: 10.24411/0235-2486-2020-10046.
49. Atudorei D., Atudorei O., Codină G.G. The Impact of Germinated Chickpea Flour Addition on Dough Rheology and Bread Quality // *Plants*. 2022. Vol. 11. Article number 1225. DOI: 10.3390/plants11091225.

Об авторах:

Оксана Владимировна Зинина, доктор технических наук, профессор кафедры биотехнологии и пищевых продуктов, Уральский государственный аграрный университет, Екатеринбург, Россия; ORCID 0000-0003-3729-1692, AuthorID 654624. E-mail: zinoks-vl@mail.ru

Ольга Петровна Неверова, кандидат биологических наук, заведующая кафедрой биотехнологии и пищевых продуктов, Уральский государственный аграрный университет, Екатеринбург, Россия; ORCID 0000-0002-2474-2290, AuthorID 393632. E-mail: opneverova@mail.ru

Ян Ли, доктор технических наук, профессор, Северо-Восточный сельскохозяйственный университет, Харбин, Китай; ORCID 0000-0001-8758-5512. E-mail: liyanghuangyu@163.com

Фэнкай Чжан, магистр пищевой инженерии, Северо-Восточный сельскохозяйственный университет, Харбин, Китай; ORCID 0009-0002-8918-8267. E-mail: zhangfengkai2022@163.com

Максим Борисович Ребезов, доктор сельскохозяйственных наук, профессор, главный научный сотрудник, Федеральный научный центр пищевых систем им. В. М. Горбатова, Москва, Россия; ORCID 0000-0003-0857-5143, AuthorID 419764. E-mail: m.rebezov@fncps.ru

References

1. Fatkullin R. I., Kalinina I. V., Naumenko N. V., Popova N. V., Naumenko E. E., Ivanisova E., Vasilyev A. K. Study of the antioxidant properties of enriched bakery products. *Agrarian Science*. 2022; 9: 167–172. DOI: 10.32634/0869-8155-2022-362-9-167-172. (In Russ.)
2. Zinina O. V., Pavlova Ya. S., Rebezov M. B., Chanov I. M., Nikolina A. D., Nurymkhan G. N. Development and examination of a cracker enriched with dietary fiber. *Agrarian Science*. 2022; 9: 173–179. DOI: 10.32634/0869-8155-2022-362-9-173-179. (In Russ.)
3. Mesta-Corral M., Gómez-García R., Balagurusamy N., Torres-León C., Hernández-Almanza A. Y. Technological and nutritional aspects of bread production: an overview of current status and future challenges. *Foods*. 2024; 13: 2062. DOI: 10.3390/foods13132062.
4. Rustemova A. Zh., Rebezov M. B. Leguminous mixture as a promising raw material source in bakery technology. *Agrarian Science*. 2023; 6: 121–125. DOI: 10.32634/0869-8155-2023-371-6-121-125. (In Russ.)
5. Rustemova A. Zh., Rebezov M. B. The use of leguminous mixture for bakery products. *Agrarian Science*. 2023; 1 (8): 137–142. DOI: 10.32634/0869-8155-2023-373-8-137-142. (In Russ.)
6. Langyan S., Yadava P., Khan F. N., Dar Z. A., Singh R., Kumar A. Sustaining protein nutrition through plant-based foods. *Frontiers in Nutrition*. 2022; 8: 772573. DOI: 10.3389/fnut.2021.772573.
7. Zaytseva N. V., Zelenkin S. E., Suvorov D. V., Shur P. Z., Lear D. N., Cao C. Kh., Nguyen K. H. Comparative characteristics of the amino acid composition of protein from traditional sources and entomoprotein: calculated data. *Problems of Nutrition*. 2023; 92 (5): 39–47. DOI: 10.33029/0042-8833-2023-92-5-39-47. (In Russ.)
8. Ferrari L., Panaite S. A., Bertazzo A., Visioli F. Animal- and plant-based protein sources: a scoping review of human health outcomes and environmental impact. *Nutrients*. 2022; 14 (23): 5115. DOI: 10.3390/nu14235115.
9. Gavrilova N., Chernopolskaya N., Rebezov M., Schetinina E., Dogareva N., Likhodeevskaya O., Knysh I., Sanova Z. Specialized sports nutrition foods: review. *International Journal of Pharmaceutical Research*. 2020; 12 (2): 998–1003. DOI: 110.31838/IJPR/2020.12.02.0152.
10. Polubesova M. A., Mechtaeva E. V., Meshcheryakov A. A., Zhuravleva A. Z., Sitnov V. Yu., Chernov A. D. Alternative sources of protein: main characteristics, environmental friendliness and safety. *Food Industry*. 2024; 1: 39–46. DOI: 10.52653/PPI.2024.1.1.007. (In Russ.)
11. Hadidi M., Aghababaei F., McClements D. J. Enhanced alkaline extraction techniques for isolating and modifying plant-based proteins. *Food Hydrocolloids*. 2023; 145 (5): 109132. DOI: 10.1016/j.foodhyd.2023.109132.
12. Cotacallapa-Sucapuca M., Vega E. N., Maieves H. A., Berrios J. J., Morales P., Fernández-Ruiz V., Cámara M. Extrusion process as an alternative to improve pulses products consumption: a review. *Foods*. 2021; 10 (5): 1096. DOI: 10.3390/foods10051096.
13. Zhang J., Chen Q., Kaplan D. L., Wang Q. High-moisture extruded protein fiber formation toward plant-based meat substitutes applications: Science, technology, and prospect. *Trends in Food Science & Technology*. 2022; 128: 202–216. DOI: 10.1016/j.tifs.2022.08.008.
14. Su T., Le B., Zhang W., Bak K. H., Soladoye P. O., Zhao Z., Zhao Y., Fu Y., Wu W. Technological challenges and future perspectives of plant-based meat analogues: From the viewpoint of proteins. *Food Research International*. 2024; 186: 114351. DOI: 10.1016/j.foodres.2024.114351.
15. Zhang M., Wang O., Cai S., Zhao L., Zhao L. Composition, functional properties, health benefits and applications of oilseed proteins: a systematic review. *Food Research International*. 2023; 171: 113061. DOI: 10.1016/j.foodres.2023.113061.

16. Rebezov M., Usman Khan M., Bouyahya A., Imran M., Tufail T., Loretts O., Neverova O., Artyukhova S., Kuznetsova E., Ermolaev V., Balahbib A., Thiruvengadam M., Zengin G., Shariati M. Nutritional and technical aspect of tiger nut and its micro-constituents: an overview. *Food Reviews International*. 2021; 39 (6): 3262–3282. DOI: 10.1080/87559129.2021.2011910.
17. Ceclu L., Nistor O., Mocanu G. Pumpkin-health benefits. *Journal of Agroalimentary Processes and Technologies*. 2020; 26: 241–246.
18. Nargotra P., Sharma V., Tsai M. L., Hsieh S. L., Dong C. D., Wang H. M. D., Kuo Ch. H. Recent advancements in the valorization of agro-industrial food waste for the production of nanocellulose. *Applied Sciences*. 2023; 13 (10): 6159. DOI: 10.3390/app13106159.
19. Qi X., Zhang Y., Yu H., Xie J. Research on the properties of polysaccharides, starch, protein, pectin, and fibre in food processing. *Foods*. 2023; 12: 249. DOI: 10.3390/foods12020249.
20. Frolov D. I., Nazarova E. I. Nutrients and anti-nutrients of bean seeds. *Innovative Technology and Technology*. 2023; 10 (4): 32–37. (In Russ.)
21. Guryeva A. V., Rozhkova M. N. Review of raw material sources applicable to the development of plant-based products: selection criteria for balanced composition. *Food Processing Industry*. 2022; 1: 59–62. DOI: 10.52653/PPI.2022.1.1.013. (In Russ.)
22. Pomorova Yu. Yu., Pyatovskiy V. V., Beskorovaynyy D. V., Bolkhovitina Yu. S. Characterization and methods of isolation of the protein part of the seeds of the most important oil crops (review). *Oil Crops*. 2019; 4 (180): 161–169. DOI: 10.25230/2412–608X–2019–4–180–161–169. (In Russ.)
23. Tan S. T., Shin T. S., Xuan T. C. Soy protein, bioactive peptides, and isoflavones: a review of their safety and health benefits. *Pharma-Nutrition*. 2023; 25: 100352. DOI: 10.1016/j.phanu.2023.100352.
24. Huang Z., Qu Y., Hua X., Wang F., Jia X., Yin L. Recent advances in soybean protein processing technologies: A review of preparation, alterations in the conformational and functional properties. *International Journal of Biological Macromolecules*. 2023; 248: 125862. DOI: 10.1016/j.ijbiomac.2023.125862.
25. Wang Y., Lyu B., Fu H., Li J., Ji L., Gong H., Zhang R., Liu J., Yu H. The development process of plant-based meat alternatives: Raw material formulations and processing strategies. *Food Research International*. 2023; 112689. DOI: 10.1016/j.foodres.2023.112689.
26. Webb D., Li Y., Alavi S. Chemical and physicochemical features of common plant proteins and their extrudates for use in plant-based meat. *Trends in Food Science & Technology*. 2022; 131 (1): 129–138. DOI: 10.1016/j.tifs.2022.11.006.
27. Serkov V. A., Smirnov A. A., Alexandrova M. R. History of hemp growing in Russia. *Oilseeds. Scientific and technical bulletin of the All-Russian Scientific Research Institute of Oilseeds*. 2018; 3 (175): 132–141. DOI: 10.25230/2412-608X-2018-3-175-132-141. (In Russ.)
28. Aloo S. O., Mwititi G., Ngugi L. W., Oh D. H. Uncovering the secrets of industrial hemp in food and nutrition: The trends, challenges, and new-age perspectives. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*. 2022; 64 (11). DOI: 10.1080/10408398.2022.2149468.
29. Chen H., Xu B., Wang Y., Li W., He D., Zhang Y., Zhang X., Xing X. Emerging natural hemp seed proteins and their functions for nutraceutical applications. *Food Science and Human Wellness*. 2023; 12 (4): 929–941. DOI: 10.1016/j.fshw.2022.10.016.
30. Odani S., Odani S. Isolation and primary structure of a methionine- and cystine-rich seed protein of *Cannabis sativa*. *Bioscience, Biotechnology, and Biochemistry*. 1998; 62 (4): 650–654. DOI: 10.1271/bbb.62.650.
31. Sun X., Sun Y., Li Y., Wu Q., Wang L. Identification and Characterization of the Seed Storage Proteins and Related Genes of *Cannabis sativa* L. *Frontiers in Nutrition*. 2021; 8. DOI: 10.3389/fnut.2021.678421.
32. Singh A., Kumar V. Pumpkin seeds as nutraceutical and functional food ingredient for future: A review. *Grain & Oil Science and Technology*. 2024; 7 (1): 12–29. DOI: 10.1016/j.gaost.2023.12.002.
33. Aziz A., Noreen S., Khalid W., Ejaz A., Faiz ul Rasool I., Maham, Munir A., Farwa, Javed M., Ercisli S., Okcu Z., Marc R. A., Nayik G. A., Ramniwas S., Uddin J. Pumpkin and pumpkin byproducts: phytochemical constituents, food application and health benefits. *ACS Omega*. 2023; 8 (26): 23346–23357. DOI: 10.1021/acsomega.3c02176.
34. Wang H., Chen K., Cheng J., Jiang L., Yu D., Dai Y., Wang L. Ultrasound-assisted three phase partitioning for simultaneous extraction of oil, protein and polysaccharide from pumpkin seeds. *LWT*. 2021; 151: 112200. DOI: 10.1016/j.lwt.2021.112200.
35. Qin N., Nie J., Hou Y., Shuang Q., Bao X. Ultrasound-assisted macroporous resin treatment improves the color and functional properties of sunflower meal protein. *Ultrasonics Sonochemistry*. 2024; 102 (8): 106750. DOI: 10.1016/j.ultsonch.2023.106750.

36. Pickardt C., Weisz G. M., Eisner P., Kammerer D. R., Neidhart S., Carle R. Processing of low polyphenol protein isolates from residues of sunflower seed oil production. *Procedia Food Science*. 2011; 1: 1417–1424. DOI: 10.1016/j.profoo.2011.09.210.
37. Pöri P., Lille M., Edelmann M., Aisala H., Santangelo D., Coda R., Sozer N. Technological and sensory properties of plant-based meat analogues containing fermented sunflower protein concentrate. *Future Foods*. 2023; 8 (3): 100244. DOI: 10.1016/j.fufo.2023.100244.
38. Tonolo F., Coletta S., Fiorese F., Grinzato A., Albanesi M., Folda A., Ferro S., De Mario A., Piazza I., Mam-mucari C., Arrigoni G., Marin O., Cestonaro G., Nataloni L., Costanzo E., Lodovichi C., Rigobello M. P., Bernard M. Sunflower seed-derived bioactive peptides show antioxidant and anti-inflammatory activity: From *in silico* simulation to the animal model. *Food Chemistry*. 2024; 439 (1): 138124. DOI: 10.1016/j.foodchem.2023.138124.
39. Tessier R., Calvez J., Airinei G., Khodorova N., Kapel R., Quinsac A., Galet O., Piedcoq J., Benamouzig R., Tomé D., Gaudichon C. The True Amino Acid Digestibility of 15N-Labelled Sunflower Biscuits Determined with Ileal Balance and Dual Isotope Methods in Healthy Humans. *The Journal of Nutrition*. 2022; 152 (3): 698–706. DOI: 10.1093/jn/nxab423.
40. Hao X. Y., Yu S. C., Mu C. T., Wu X. D., Zhang C. X., Zhao J. X., Zhang J. X. Replacing soybean meal with flax seed meal: effects on nutrient digestibility, rumen microbial protein synthesis and growth performance in sheep. *Animal*. 2020; 14 (9): 1841–1848. DOI: 10.1017/S1751731120000397.
41. Xie D. W., Li J., Zhang X. Yu., Dai Zh. G., Zhou W. Zh., Su J. G., Sun J. Systematic analysis of MYB transcription factors and the role of LuMYB216 in regulating anthocyanin biosynthesis in the flowers of flax (*Linum usitatissimum* L.). *Journal of Integrative Agriculture*. 2023; 22 (8): 2335–2345. DOI: 10.1016/j.jia.2023.04.046.
42. Cui Zh., Yan B., Gao Yu., Wu B., Wang Yi., Wang H., Hu P., Zhao B., Cao Z., Zhang Y., Xie Y., Hu Y., Ma X., Niu J. Agronomic cultivation measures on productivity of oilseed flax: A review. *Oil Crop Science*. 2022; 7 (1): 53–62. DOI: 10.1016/j.ocsci.2022.02.006.
43. Kaushik P., Dowling K., McKnight S., Barrow C. J., Wang B., Adhikari B. Preparation, characterization and functional properties of flax seed protein isolate. *Food Chemistry*. 2016; 197 (A): 212–220. DOI: 10.1016/j.foodchem.2015.09.106.
44. Polosina E. I., Frolov D. I. Increasing the nutritional value of wheat bread by adding functional additives. *Innovative Engineering and Technology*. 2023; 10 (4): 27–31. (In Russ.)
45. *Dietary protein quality evaluation in human nutrition: report of an FAO Expert Consultation*. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations, 2013. 79 p.
46. Capcanari T., Covaliov E., Negoita C., Siminiuc R., Chirsanova A., Reșitca V., Turcanu D. Hemp Seed Cake Flour as a Source of Proteins, Minerals and Polyphenols and Its Impact on the Nutritional, Sensorial and Technological Quality of Bread. *Foods*. 2023; 12: 4327. DOI: 10.3390/foods12234327.
47. Yushkov S. Development of a complex composition of plant proteins with a complete set of amino acids. *Biznes Pishchevyh Ingredientov*. 2018; 1: 22–27. (In Russ.)
48. Alekhina N. N., Ponomareva E. I., Zharkova I. M., Zheltikova A. S. Study of functional properties of grain bread based on protein enricher baking mix. *Food Processing Industry*. 2020; 5: 8–12. DOI: 10.24411/0235-2486-2020-10046. (In Russ.)
49. Atudorei D., Atudorei O., Codină G.G. The Impact of Germinated Chickpea Flour Addition on Dough Rheology and Bread Quality. *Plants*. 2022; 11: 1225. DOI: 10.3390/plants11091225.

Authors' information:

Oksana V. Zinina, doctor of technical sciences, professor at the department of biotechnology and food products, Ural State Agrarian University, Ekaterinburg, Russia; ORCID 0000-0003-3729-1692, AuthorID 654624.

E-mail: zinoks-vl@mail.ru

Olga P. Neverova, candidate of biological sciences, head of the department of biotechnology and food products, Ural State Agrarian University, Ekaterinburg, Russia; ORCID 0000-0002-2474-2290, AuthorID 393632.

E-mail: opneverova@mail.ru

Yang Li, doctor of technical sciences, professor, Northeast Agricultural University, Harbin, China; ORCID 0000-0001-8758-5512. E-mail: liyanghuangyu@163.com

Fengkai Zhang, master student in food engineering, Northeast Agricultural University, Harbin, China; ORCID 0009-0002-8918-8267. E-mail: zhangfengkai2022@163.com

Maksim B. Rebezov, doctor of agricultural sciences, professor, chief researcher, V. M. Gorbатов Federal Research Center for Food Systems, Moscow, Russia; ORCID 0000-0003-0857-5143, AuthorID 419764.

E-mail: m.rebezov@fneps.ru