

УДК 664.66:612.398

Научная статья



Открытый доступ

DOI: 10.32634/0869-8155-2026-407-06-145-155

М.Р. Салахов¹

О.В. Зинина¹ ✉

Е.А. Вишнякова¹

М.Б. Ребезов²

¹Южно-Уральский государственный университет, Челябинск, Россия

²Федеральный научный центр пищевых систем им. В.М. Горбатова Российской академии наук, Москва, Россия

✉ zininaov@susu.ru

Поступила в редакцию: 06.01.2026

Одобрена после рецензирования: 23.05.2026

Принята к публикации: 06.06.2026

© Салахов М.Р., Зинина О.В., Вишнякова Е.А., Ребезов М.Б.

Оптимизация состава белковой добавки и ее применение в технологии высокобелковых хлебцев

РЕЗЮМЕ

Актуальность. Растительные белки и белковые добавки играют все более важную роль в пищевых технологиях, способствуя созданию функциональных и диетически ценных продуктов. Использование белков из подсолнечника, гороха, тыквы и риса позволяет не только улучшать аминокислотный состав и технологические свойства хлебобулочных изделий, но и повышать их биологическую ценность. Оптимизация рецептур хлебцев с растительными белками способствует созданию продуктов, соответствующих принципам здорового питания и рационального природопользования, одновременно снижая экологические и экономические издержки производства.

Методы. Объектами исследования является белковая композиция, состоящая из подсолнечного, тыквенного, горохового и рисового белков, а также хлебцы, изготовленные с использованием данной белковой композиции. Полученные образцы исследовали согласно ГОСТ 9846-88, с применением ГОСТ 5670-96, ГОСТ 21094-2022, ГОСТ Р 54731-2011.

Результаты. Результаты исследований показали, что введение растительной белковой композиции в рецептуру хлебцев оказывает положительное влияние на технологические свойства теста и органолептические показатели готовых изделий. При этом замена более 30% муки приводит к ухудшению реологических характеристик теста и появлению специфического привкуса. На основе экспериментальных данных определены оптимальные дозировки белковой смеси — 10% и 20%, обеспечивающие соблюдение физико-химических норм и высокие потребительские свойства. Образец с 20% заменой муки является перспективным для промышленного выпуска функциональных продуктов питания, включая диетические и спортивные рационы.

Ключевые слова: хлебцы, растительный белок, гороховый белок, тыквенный белок, рисовый белок, подсолнечный белок

Для цитирования: Салахов М.Р., Зинина О.В., Вишнякова Е.А., Ребезов М.Б. Оптимизация состава белковой добавки и ее применение в технологии высокобелковых хлебцев. *Аграрная наука*. 2026; 407 (06): 145–155.

<https://doi.org/10.32634/0869-8155-2026-407-06-145-155>

Research article



Open access

DOI: 10.32634/0869-8155-2026-407-06-145-155

Maksim R. Salakhov¹

Oksana V. Zinina¹ ✉

Elena A. Vishnyakova¹

Maksim B. Rebezov²

¹South Ural State University, Chelyabinsk, Russia

²Gorbatov Research Center for Food Systems, Moscow, Russia

✉ zininaov@susu.ru

Received by the editorial office: 06.01.2026

Accepted in revised: 23.05.2026

Accepted for publication: 06.06.2026

© Salakhov M.R., Zinina O.V., Vishnyakova E.A., Rebezov M.B.

Optimization of the composition of protein supplements and their application in high-protein crispbread technology

ABSTRACT

Relevance. Plant proteins and protein supplements are playing an increasingly important role in food technology, contributing to the creation of functional and nutritionally valuable products. Using proteins from sunflower, pea, pumpkin, and rice not only improves the amino acid composition and technological properties of bakery products but also increases their biological value. Optimizing crispbread recipes with plant proteins contributes to the creation of products that comply with the principles of healthy eating and sustainable environmental management, while simultaneously reducing environmental and economic production costs.

Methods. The objects of the study were a protein composition consisting of sunflower, pumpkin, pea, and rice proteins, as well as crispbreads made using this protein composition. The obtained samples were examined according to GOST 9846-88, using GOST 5670-96, GOST 21094-2022, GOST R 54731-2011.

Results. The study showed that the addition of a plant protein composition to crispbread recipes has a positive effect on the technological properties of the dough and the organoleptic properties of the finished product. However, replacing more than 30% of the flour results in a deterioration in the dough's rheological properties and the development of a specific flavor. Based on the experimental data, optimal dosages of the protein mixture were determined — 10% and 20% to ensure compliance with physicochemical standards and high consumer properties. The sample with a 20% flour replacement shows promise for the industrial production of functional foods, including dietary and sports nutrition products.

Key words: crispbread, vegetable protein, pea protein, pumpkin protein, rice protein, sunflower protein

For citation: Salakhov M.R., Zinina O.V., Vishnyakova E.A., Rebezov M.B. Optimization of the composition of a protein additive and its application in high-protein crispbread technology. *Agrarian science*. 2026; 407 (06): 145–155 (in Russian).

<https://doi.org/10.32634/0869-8155-2026-407-06-145-155>

Введение/Introduction

С развитием современного общества все больше внимания уделяется качеству питания и его влиянию на здоровье [1–5].

В этом контексте хлебцы занимают особое место среди продуктов питания, благодаря своей популярности и высокой пищевой ценности. На фоне снижения выпуска хлеба недлительного хранения устойчиво растет производство изделий длительного хранения, включая хлебцы и аналогичную продукцию, что отражает смещение потребительского спроса в сторону удобных и функциональных форматов.

Хлебцы являются низкокалорийными изделиями с высоким содержанием пищевых волокон и углеводов. Этот продукт имеет разнообразный ассортимент и подходит для быстрого перекуса. Рост популярности хлебцев неразрывно связан с популяризацией принципов здорового образа жизни. Сегодня индустрия фокусируется на улучшении состава продукта.

Благодаря интеграции передовых технологий и поиску альтернативных сырьевых источников, производителям удается значительно повысить потребительскую привлекательность товара и расширить свое присутствие в нише полезных перекусов [6, 7].

Взгляд современных исследователей также обращен в сторону разработок рецептур хлебцев, обогащенных различными функциональными ингредиентами, среди которых: белково-углеводная мука [8], порошок из семян тыквы [9], яблочный порошок [10], рыбно-минеральная добавка [11], экстракт шиповника [12], йодосодержащий ингредиент [12] и так далее.

Белки являются важнейшим биологическим макронутриентом, выполняющим ключевые структурные, каталитические и регуляторные функции в организме человека. Они входят в состав клеток и тканей, участвуют в процессах роста и восстановления, обеспечивают транспорт веществ, а также играют центральную роль в регуляции обмена веществ и поддержании гомеостаза. В зависимости от происхождения пищевые белки принято подразделять на животные и растительные. Основными источниками животного белка являются мясо, яйца и молочные продукты, тогда как растительные белки содержатся преимущественно в бобовых культурах, зерновых, семенах, орехах и в ряде других продуктов растительного происхождения [13].

В целом животные белки традиционно считаются более предпочтительными источниками белка за счет высокой биологической ценности и благоприятного аминокислотного состава. Однако производство животного белка характеризуется высокой ресурсо- и энергоемкостью. Соотношение затрат энергии на его получение составляет примерно 14:1, что указывает на значительные экономические и экологические издержки данного способа производства. В условиях ограниченности

природных ресурсов и роста потребности населения в полноценном белке особую актуальность приобретают альтернативные источники. Белки, полученные из растительного сырья, рассматриваются как эффективная и более экономически целесообразная альтернатива, способная внести значительный вклад в решение глобальной проблемы дефицита белка [14].

Помимо экономических и экологических преимуществ, растительные белковые продукты обладают выраженным положительным воздействием на здоровье человека. Результаты многочисленных исследований свидетельствуют о том, что включение в рацион растительных продуктов питания способствует снижению риска развития метаболических нарушений и сердечно-сосудистых заболеваний [15]. Кроме того, растительные белки и сопутствующие им биологически активные вещества проявляют потенциальные противораковые, иммуномодулирующие и противовоспалительные свойства [16–19].

Особый интерес представляют данные о влиянии диет, обогащенных клетчаткой, растительным белком и полиненасыщенными жирными кислотами, на физиологическое состояние кормящих матерей.

Установлено, что такие диеты оказывают более благоприятное воздействие по сравнению со стандартными рационами и диетами, содержащими преимущественно животный белок и насыщенные жирные кислоты. В частности, соблюдение растительно-ориентированной диеты в период лактации способствовало более эффективному восстановлению физиологических изменений, вызванных беременностью, включая нормализацию иммунного ответа и показателей липидного обмена. Кроме того, было выявлено влияние данной диеты на состав и функциональную активность микробиоты слепой кишки, в том числе на продукцию короткоцепочечных жирных кислот, что продемонстрировало корреляцию с иммунными показателями и параметрами липидного обмена [20].

Введение растительных белков в рецептуру хлебобулочных изделий способствует балансированию аминокислотного состава за счет восполнения лимитирующих аминокислот, характерных для зернового сырья.

Кроме того, растительные белки оказывают положительное влияние на технологические свойства теста, включая повышение его стабильности, улучшение водопоглощающей способности и формирование оптимальной структуры клейковинного каркаса. Это, в свою очередь, способствует увеличению объема готовых изделий, улучшению их пористости и замедлению процессов черствения, что положительно отражается на сроках хранения продукции.

Белки, получаемые из нетрадиционных источников растительного сырья, а также из побочных продуктов и отходов перерабатывающих

производств, могут рассматриваться как полноценные и перспективные источники данного макронутриента. Использование такого сырья соответствует принципам рационального природопользования и безотходных технологий, способствует повышению экономической эффективности пищевых производств.

Подсолнечник — одна из важнейших маслических культур в мире, занимающая третье место по объему производства после сои и рапса, с объемом производства 53,5 млн тонн в 2019 году [21]. После извлечения масла побочный продукт подсолнечного жмыха рассматривается как потенциальное сырье для использования в пищевой промышленности благодаря своему химическому составу, включая высокое содержание белка (30–50% масс./масс.) [22].

Белок подсолнечника является превосходным источником богатых серой аминокислот, которые, как правило, отсутствуют в большинстве белков растительного происхождения. Хотя в белках подсолнечника отсутствует незаменимая аминокислота лизин, что является недостатком с точки зрения питательной ценности, они, тем не менее, считаются отличным источником белка благодаря низкому содержанию токсичных и антипитательных соединений [23]. Белок подсолнечной муки в основном состоит из глобулинов, которые составляют приблизительно 60–80% от общего содержания белка. Данный белок известен своим хорошо сбалансированным аминокислотным составом, отличной усвояемостью и высокой биологической ценностью. Эти свойства делают его перспективным ингредиентом для пищевой промышленности, а его дальнейшие исследования и высокоэффективное использование принесут значительные социальные и экономические выгоды [24]. Белок из семян подсолнечника содержит низкий уровень антипитательных факторов. Хотя семена подсолнечника в основном используются для производства подсолнечного масла, оставшийся жмых потенциально может содержать белок, пригодный для потребления человеком [25].

Аминокислотный профиль белков семян тыквы, как правило, сбалансирован; они особенно богаты глутаматом, аргинином и аминокислотами с разветвленной цепью, хотя лизин может быть несколько дефицитным по сравнению с идеальным белковым профилем [26]. Данный белок является источником незаменимых аминокислот, таких как лейцин, фенилаланин, гистидин и изолейцин [27]. Основная белковая фракция в семенах тыквы состоит из запасных белков растений, преимущественно 12S-глобулинов. Эти белки, называемые кукурбитинами, имеют структурное сходство с глицинином сои, легумином гороха и круциферином рапса. Помимо кукурбитинов, семена тыквы также содержат 2S-альбумины, вместе эти две фракции составляют приблизительно 59% от общего содержания сырого белка. Также

сообщалось о наличии незначительных количеств 18S-глобулинов, которые, как полагают, представляют собой димерные формы 12S-глобулинов [28].

Тыквенный белок получают из жмыха, образующегося в процессе переработки тыквенных семечек при производстве масла. Данный жмых является ценным побочным продуктом масложировой промышленности и характеризуется высоким содержанием белка, достигающим 50% от общего состава сырья [29–32]. Благодаря такому количеству белка тыквенный жмых представляет собой перспективный источник растительного белка для использования в пищевых технологиях.

Рис является одной из важнейших зерновых культур в мире и служит основным источником питания для более чем 50% населения планеты. Он играет ключевую роль в обеспечении продовольственной безопасности, особенно в странах Азии, Африки и Латинской Америки, где данная культура традиционно составляет значительную долю ежедневного рациона.

Пищевая ценность риса во многом определяется его химическим составом, в котором содержание белка занимает важное место, оказывая влияние как на питательные, так и на органолептические характеристики зерна. Белок рисовых зерен является ключевым фактором, определяющим текстуру, вкус и кулинарные свойства готовых продуктов, а также их биологическую ценность [33]. В среднем содержание белка в рисе ниже по сравнению с другими зерновыми культурами, однако он отличается высокой усвояемостью и гипоаллергенными свойствами, что делает рисовый белок перспективным ингредиентом для диетического и функционального питания.

Как правило, белковый комплекс рисового зерна представлен четырьмя основными фракциями: альбумином, глобулином, проламином и глютелином. Среди них глютелин является преобладающей фракцией и составляет основную долю белков риса, определяя его функциональные и технологические свойства [34]. Соотношение различных белковых фракций может варьироваться в зависимости от сорта риса, условий выращивания и степени обработки зерна, что следует учитывать при использовании риса и продуктов его переработки в пищевой промышленности. Белковая фракция риса в последнее время привлекает внимание благодаря сбалансированному аминокислотному составу, высокой усвояемости и гипоаллергенным свойствам, поскольку он естественным образом не содержит лактозы и глютена [35]. По сравнению с белками животного происхождения, рисовый белок оказывает меньшее воздействие на окружающую среду и соответствует растущему спросу на устойчивые и этичные источники пищи [36]. Также данный белок обладает биологической активностью,

включая антиоксидантное, противораковое, гипохолестеринемическое и противовоспалительное действие [37].

Горох является высокобелковой культурой, обладающей значительным потенциалом в качестве источника растительного белка. Он характеризуется целым рядом преимуществ, включая низкое негативное воздействие на окружающую среду при возделывании, эффективную фиксацию атмосферного азота в почве, что снижает потребность в минеральных удобрениях, а также выраженные полезные для здоровья свойства. Белки гороха обладают благоприятным аминокислотным составом и функциональными характеристиками, такими как способность к гелеобразованию, эмульгированию и удержанию воды, что делает горох перспективным сырьем для производства альтернативных белковых продуктов и функционального питания [38].

Кроме того, горох занимает второе место среди бобовых культур по объему мирового производства, уступая лишь сое, что подтверждает его значимость в глобальном сельском хозяйстве и пищевой промышленности.

Он характеризуется сбалансированным аминокислотным профилем, включающим значительное количество незаменимых аминокислот, что повышает его биологическую ценность и делает пригодным для обогащения продуктов питания. Гороховый белок также отличается низкой аллергенностью по сравнению с белками многих других растений, что расширяет круг потребителей, включая людей с пищевыми аллергиями.

Белки гороха обычно классифицируются по четырем категориям: глобулин, альбумин, проламин и глютенин, из которых глобулин является основным запасным белком, составляющим 55–65% от общего количества белка в полевом горохе. Белки гороха в основном состоят из 7S/11S глобулина и 2S альбумина и имеют высокое содержание лизина, что может компенсировать недостаток лизина в рационах на основе злаков [39]. Белки гороха и их гидролизаты обладают рядом полезных для здоровья свойств, таких как антиоксидантное, противодиабетическое и антигипертензивное действие, а также регулирование состава кишечной микрофлоры [40].

Кроме того, белки гороха широко используются в пищевой промышленности, например, для инкапсуляции биоактивных соединений, биоразлагаемых пленок и в качестве альтернативы животным белкам [41].

Кроме того, гороховый белок обладает превосходными функциональными свойствами, которые делают его востребованным ингредиентом в пищевой промышленности. Среди них — высокая растворимость в воде, способность к образованию стабильных эмульсий и пены, а также выраженные гелеобразующие свойства. Эти характеристики позволяют использовать гороховый

белок при производстве разнообразных продуктов, включая растительные заменители мяса, белковые напитки, кондитерские изделия и хлебобулочные продукты, обеспечивая при этом желаемую текстуру, стабильность и органолептические качества [42].

Целью работы является оптимизация состава белковой добавки и изучение ее влияния на показатели качества ржаных дрожжевых хлебцев.

Материалы и методы исследования / Materials and methods

Исследования проводились в лабораториях кафедры «Пищевые и биотехнологии» ФГАО ВО «Южно-Уральский государственный университет» (Челябинск, Россия) с октября по декабрь 2025 г.

Объектами исследования являются:

- белковая композиция, составленная на основе следующих белков: гороховый белковый изолят 85% (Yantai Oriental Protein Tech Co. Китай), изолят рисового белка (Yantai Oriental Protein Tech Co. Китай), концентрат тыквенного белка (ООО «Медаль», Россия), концентрат подсолнечного белка (ООО «ЭВОФУД», Россия);

- хлебцы, изготовленные с добавлением белковой композиции.

Для разработки белковой композиции были отобраны белки гороха, подсолнечника, риса и тыквы, что обусловлено их высокими функционально-технологическими характеристиками, сбалансированным аминокислотным составом, а также доказанной пользой для здоровья человека.

Выбор данных источников растительного белка позволяет получить композицию с улучшенной усвояемостью и повышенной пищевой ценностью.

Оптимизацию компонентного состава белковой композиции осуществляли по показателям биологической ценности с применением симплекс-метода линейного программирования.

В рамках математической модели были заданы линейные ограничения на искомые переменные, где X_1 соответствует подсолнечному белку, X_2 — гороховому, X_3 — тыквенному, а X_4 — рисовому белку.

В качестве целевой функции рассматривался аминокислотный скор лизина, выбранный в связи с тем, что именно лизин является одной из наиболее лимитирующих и дефицитных незаменимых аминокислот в растительных белках.

Поиск экстремума данной линейной функции позволил определить оптимальное соотношение компонентов композиции (таблица 1).

Содержание незаменимых и заменимых аминокислот в каждом из выбранных видов белкового сырья было установлено на основании данных, предоставленных производителями соответствующих ингредиентов и использованных в качестве исходных параметров для проведения расчетов.

Таблица 1. Балансовые уравнения оптимизации состава белковой композиции

Table 1. Balance equations for optimization of the protein composition

Показатель	Уравнение
Содержание валина	$6,42 \cdot X_1 + 5,00 \cdot X_2 + 5,78 \cdot X_3 + 5,83 \cdot X_4 \geq 4,00$
Содержание изолейцина	$5,55 \cdot X_1 + 4,71 \cdot X_2 + 4,68 \cdot X_3 + 4,16 \cdot X_4 \geq 3,00$
Содержание лейцина	$8,09 \cdot X_1 + 7,94 \cdot X_2 + 8,87 \cdot X_3 + 8,33 \cdot X_4 \geq 6,10$
Содержание лизина	$4,56 \cdot X_1 + 7,06 \cdot X_2 + 4,52 \cdot X_3 + 3,75 \cdot X_4 \geq 4,80$
Содержание метионина и цистеина	$4,60 \cdot X_1 + 2,24 \cdot X_2 + 3,42 \cdot X_3 + 3,75 \cdot X_4 \geq 2,30$
Содержание треонина	$4,51 \cdot X_1 + 3,47 \cdot X_2 + 3,65 \cdot X_3 + 4,16 \cdot X_4 \geq 2,50$
Содержание триптофана	$1,65 \cdot X_1 + 1,06 \cdot X_2 + 2,10 \cdot X_3 + 1,25 \cdot X_4 \geq 0,66$
Содержание фенилаланина и тирозина	$8,93 \cdot X_1 + 8,82 \cdot X_2 + 10,35 \cdot X_3 + 10,31 \cdot X_4 \geq 4,10$
Аминокислотный скор лизина (функция цели)	$100 \times (4,56 \cdot X_1 + 7,06 \cdot X_2 + 4,52 \cdot X_3 + 3,75 \cdot X_4) / 4,80 \rightarrow 100$
Формирование единицы продукта	$X_1 + X_2 + X_3 + X_4 = 1$

В качестве исходной информации для решения задачи линейного программирования использовали данные об аминокислотном составе применяемых видов растительных белков, предоставленные производителями, а также рекомендованные нормы потребления незаменимых аминокислот в соответствии с требованиями ФАО/ВОЗ¹. Указанные показатели были приняты в качестве базовых ограничений и критериев при формировании математической модели оптимизации.

После получения смеси растительных белков были сформированы контрольный и три опытных образца хлебцев:

1. Контрольный образец (К): Классические ржаные дрожжевые хлебцы.

2. Опытный образец 1 (О-1): Дрожжевые хлебцы с заменой 10 % ржаной муки белковой композицией.

3. Опытный образец 2 (О-2): Дрожжевые хлебцы с заменой 20 % ржаной муки белковой композицией.

4. Опытный образец 3 (О-3): Дрожжевые хлебцы с заменой 30 % ржаной муки белковой композицией.

Все образцы были изготовлены из ржаной обдирной муки с добавлением хлебопекарных дрожжей по технологии, приведенной на рисунке 1.

Полученные образцы исследовали на соответствие нормам, указанным в ГОСТ 9846-88². Влажность образцов определяли по ГОСТ 21094-2022³, а кислотность образцов определяли по ГОСТ 5670-96⁴.

Влияние внесения белковой композиции на деятельность дрожжей оценивали по ГОСТ Р 54731-2011⁵.

Результаты и обсуждение / Results and discussion

В результате разработана белковая композиция, по своему составу удовлетворяющая требования к аминокислотному составу.

Рис. 1. Технология изготовления обогащенных хлебцев
Fig. 1. Technology for the production of enriched bread



Таблица 2. Состав белковой композиции

Table 2. Composition of protein composition

Показатель	Значение
Состав, %	
подсолнечный	57,6
гороховый	17,9
тыквенный	4,8
рисовый	19,7
Аминокислотный скор незаменимых аминокислот, %	
валина	150,44
изолейцина	169,38
лейцина	133,56
метионина и цистеина	171,81
треонина	168,55
триптофана	225,66
фенилаланина и тирозина	225,61
лизина	100,98
Массовая доля белка, %	65,54

Композиция растительных белков, полученная математическим моделированием, представлена в таблице 2.

¹ FAO Consultation. Dietary protein quality evaluation in human nutrition. FAO Food and Nutrition Paper. 2011; 92: 1–66. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/26369006>

² ГОСТ 9846-88 Хлебцы хрустящие. Технические условия

³ ГОСТ 21094-2022 Изделия хлебобулочные. Методы определения влажности

⁴ ГОСТ 5670-96 Хлебобулочные изделия. Методы определения кислотности

⁵ ГОСТ Р 54731-2011 Дрожжи хлебопекарные прессованные. Технические условия

Расчетным методом также установлено общее содержание белка для каждого объекта исследования.

Результаты исследований приведены в таблице 3.

По данным, представленным в таблице 3, видно, насколько значительно увеличивается содержание белка при замене части муки белковой композицией.

Также согласно ГОСТ Р 55577-2013⁶ образцы с 20% и 30% замены муки могут считаться продуктом с высоким содержанием белка, поскольку более 20% энергетической ценности данного пищевого продукта обеспечивается белком.

Также установлено влияние добавления белковой смеси на деятельность дрожжей. В таблице 4 представлены результаты данного эксперимента.

Как видно по данным, представленным в таблице 4, добавление белковой композиции ускоряет деятельность дрожжей, на что указывает рост подъемной силы. Это явление может быть объяснено следующими аспектами: 1) происходит улучшение питания и метаболической активности дрожжей благодаря наличию в используемых белковых концентратах свободного аминного азота, пептидов и аминокислот, что ускоряет синтез клеточных белков, репликацию и общую метаболическую активность, проявляется в увеличении скорости образования углекислого газа. Кроме того, в белковых концентратах могут присутствовать микроэлементы, кофакторы ферментов дрожжей, что дополнительно стимулирует ферментативные пути гликолиза и дыхательной цепи, косвенно увеличивая газообразование. Также возможно наличие в концентрате остаточной протеолитической активности нативных ферментов, под действием которых происходит постепенное высвобождение аминокислот в процессе расстойки, что поддерживает ферментацию на более поздних стадиях;

2) благодаря способности белков поглощать воду повышается водопоглощение теста. При прочной сбалансированной белковой сетке это приводит к лучшему образованию газовой фазы. Кроме того, белковые молекулы участвуют в формировании вязкоупругой матрицы благодаря взаимодействию с глютенами. На границе газ/тесто белковые молекулы обладают поверхностной активностью и образуют эластичные пленки вокруг пузырьков, что повышает устойчивость пузырьков к коалесценции и газовой выделению, аналогично стабилизации пены белками в других пищевых системах.

Полученные результаты согласуются с выводами других исследований, в ходе которых было выяснено, что обогащение продукта белками или овощными порошками приводит к росту активности дрожжей [43, 44].

На рисунке 2 приведен внешний вид образцов теста.

Таблица 3. Расчетное содержание белка в образцах
Table 3. Estimated protein content in samples

Образец	Содержание белка, г на 100 г
Контрольный	8,50
О-1 (10% замены муки)	13,84
О-2 (20% замены муки)	19,22
О-3 (30% замены муки)	24,60

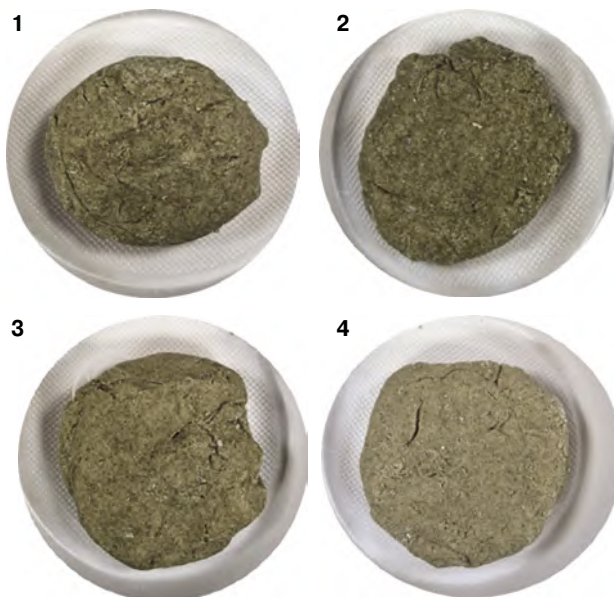
Таблица 4. Исследование влияния внесения белковой композиции на деятельность дрожжей

Table 4. Study of the effect of introducing a protein composition on yeast activity

Образец	Подъемная сила, мин.
Контрольный	49
О-1 (10% замены муки)	46
О-2 (20% замены муки)	41
О-3 (30% замены муки)	38

Рис. 2. Внешний вид образцов полученного теста: 1) контрольный образец; 2) образец с 10 % заменой муки; 3) образец с 20 % заменой муки; 4) образец с 30 % заменой муки

Fig. 2. Appearance of the obtained test samples: 1) control sample; 2) sample with 10% flour replacement; 3) sample with 20% flour replacement; 4) sample with 30% flour replacement



Как видно на рисунке 3, все образцы, кроме последнего, имеют схожий цвет и текстуру, в то время как образец с 30% заменой муки выделяется более светлым цветом. Данный образец хуже всех связывал влагу и обладал высокой адгезией во время раскатывания и нарезания.

На следующем этапе данного исследования была проведена органолептическая оценка полученных образцов. Результаты сравнили с требованиями ГОСТ 9846–88² (таблица 5).

На рисунке 3 представлен внешний вид полученных образцов хлебцев.

Как видно по результатам в таблице 5, образец О-3 отличается по цвету и вкусу от всех остальных образцов. Его отличает более светлый цвет, а также

⁶ ГОСТ Р 55577-2013 Продукты пищевые функциональные. Информация об отличительных признаках и эффективности

Таблица 5. Результаты органолептической оценки

Table 5. Results of organoleptic evaluation

Наименование показателя	Значения по ГОСТ 9846	Значения показателей			
		К	О-1	О-2	О-3
Поверхность	Верхняя: шероховатая с наколами и рельефом, допускаются незначительная мучнистость, наличие бороздок, небольших вздутий и отдельных вкраплений крошек, а также соли у хлебцев ржаных, посыпанных солью, к пиву; отрубей у хлебцев спортивных, корицы у хлебцев с корицей. Нижняя: шероховатая, мучнистая с вкраплениями крошек и отрубей, с рельефом и следами от сетки печи	Шероховатая с наколами, с небольшими вздутиями			
Цвет	От светло-серого до светло-коричневого с более темной окраской на нижней стороне для ржаных хлебцев и от светло-желтого до светло-коричневого с более темной окраской на нижней стороне для хлебцев из пшеничной муки или из смеси ржаной и пшеничной муки	Коричневый		Светло-коричневый	
Хрупкость	Изделия должны быть хрупкими, слегка ломающимися	Хрупкое, слегка ломающееся изделие			
Вид в изломе	Хорошо разрыхленные, с развитой пористостью, пропеченные и просушенные, без признаков непромеса	Хорошо разрыхленные, с развитой пористостью, пропеченные и просушенные, без признаков непромеса			
Вкус	Свойственный данному виду изделий, без постороннего привкуса	Свойственный данному виду изделий, без постороннего привкуса		Присутствует выраженный привкус подсолнечника	
Запах	Свойственный данному виду изделий, без постороннего запаха	Свойственный данному виду изделий, без постороннего запаха			

Рис. 3. Внешний вид готовых образцов (с левой стороны — типичный единичный образец, справа — образцы из одной партии изделия): 1) контрольный образец; 2) образец с 10% заменой муки; 3) образец с 20% заменой муки; 4) образец с 30% заменой муки

Fig. 3. Appearance of finished samples (on the left — a typical single sample, on the right — samples from one batch of the product): 1) control sample; 2) sample with 10% flour replacement; 3) sample with 20% flour replacement; 4) sample with 30% flour replacement

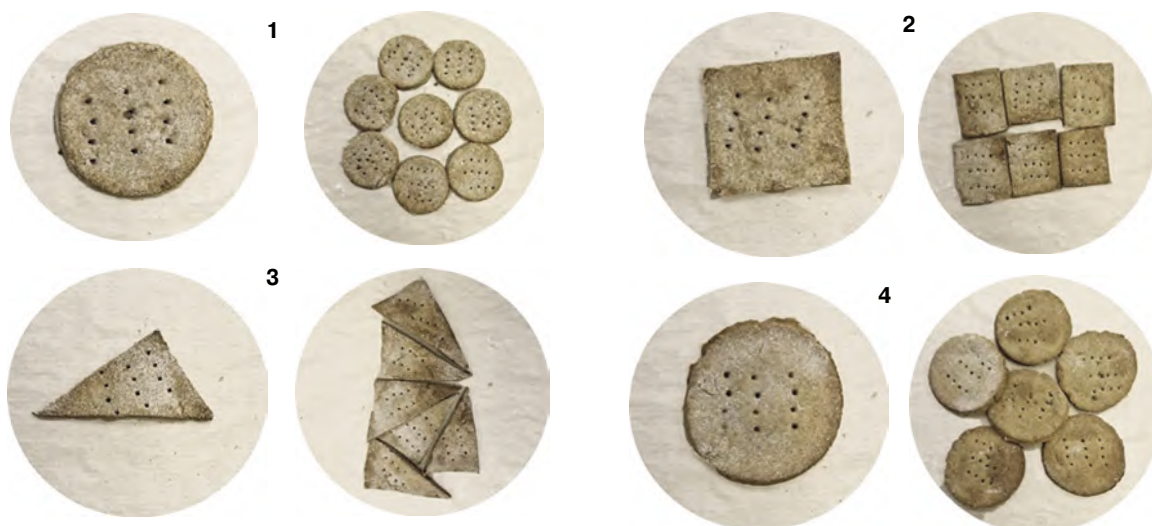


Таблица 6. Физико-химические показатели полученных образцов

Table 6. Physicochemical parameters of the obtained samples

Наименование показателя	Требования ГОСТ 9846-88	Значения показателей			
		К	О-1	О-2	О-3
Влажность, %	не более 9,0	3,99 ± 0,02	4,49 ± 0,03	4,30 ± 0,02	6,25 ± 0,03
Кислотность, град.	не более 8,0	2,8 ± 0,1	4,0 ± 0,1	5,6 ± 0,2	6,0 ± 0,2

выраженный вкус подсолнечника, который преобладает в добавляемой белковой композиции.

Помимо органолептических свойств были также определены физико-химические свойства полученных образцов. Результаты также сравнили с требованиями ГОСТ 9846-88.

Результаты исследований приведены в таблице 6.

По результатам, представленным в таблице 6, видно, что увеличение внесенной доли белковой

композиции повышает влажность готового продукта и его кислотность. При этом ни один из показателей не превышает нормативы, указанные в ГОСТ 9846.

В представленном исследовании изучена возможность обогащения хлебцев белковой композицией (белки подсолнечника, гороха, тыквы, риса) и проанализировано ее влияние на технологические и органолептические свойства продукта (рис. 4).

Рис. 4. Основные выводы проведенного исследования

Fig. 4. Main findings of the study

Оптимизация композиции

- С применением симплекс-метода линейного программирования, где в качестве целевой функции выступал аминокислотный скор лимитирующей аминокислоты (лизина), разработан оптимальный состав белковой смеси (подсолнечный — 57,6%, гороховый — 17,9%, тыквенный — 4,8%, рисовый — 19,7%). Полученная композиция характеризуется сбалансированным аминокислотным составом, что подтверждается значениями аминокислотного скор по всем незаменимым аминокислотам (от 100,98% для лизина до 225,66% для триптофана), соответствующими рекомендациям ФАО/ВОЗ.

Влияние на технологический процесс

- Установлено, что внесение белковой композиции положительно влияет на биотехнологические свойства изученных полуфабрикатов. Замена части муки на белковую смесь интенсифицирует метаболическую активность дрожжей, что выражается в сокращении времени подъемной силы теста (с 49 мин в контроле до 38 мин при дозировке 30%). Данный эффект обусловлен наличием свободных аминокислот и пептидов в составе добавки, служащих дополнительным источником питания для дрожжевой микрофлоры.

Определение оптимальных параметров

- Экспериментально подтверждено, что уровень замены муки является критическим фактором, определяющим качество готовых изделий;
- дозировки 10% и 20% обеспечивают получение хлебцев с высокими органолептическими показателями и физико-химическими характеристиками (влажность, кислотность), соответствующими требованиям ГОСТ 9846;
- увеличение дозировки до 30% приводит к ухудшению реологических свойств теста (повышенная липкость, ухудшение влагосвязывания), что делает данный образец менее приемлемым для промышленного производства.

Выводы/Conclusions

Наиболее перспективным является образец с 20% заменой муки, который сочетает в себе технологичность производства и статус источника белка, поскольку более 20% энергетической ценности данного продукта обеспечивается белком и согласно ГОСТ Р 55577-2013 может считаться продуктом с высоким содержанием белка.

Научно обоснован и экспериментально подтвержден оптимальный состав растительной белковой композиции и доказана эффективность ее применения в технологии производства высокобелковых хлебцев, что открывает перспективы для расширения ассортимента продуктов функционального и спортивного питания.

Все авторы несут ответственность за работу и представленные данные. Все авторы внесли равный вклад в работу. Авторы в равной степени принимали участие в написании рукописи и несут равную ответственность за плагиат. Авторы объявили об отсутствии конфликта интересов.

All authors bear responsibility for the work and presented data. All authors made an equal contribution to the work. The authors were equally involved in writing the manuscript and bear the equal responsibility for plagiarism. The authors declare no conflict of interest.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Варивода А.А., Кенияз Н.В., Ребезов М.Б. Разработка научно обоснованных подходов к проектированию пищевых продуктов направленного действия для геродиетического питания. *Аграрная наука*. 2023; (4): 145–151. <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2023-369-4-145-151>
2. Rebezov M. et al. Role of beetroot as a dietary supplement in food products: Review. *Plant Cell Biotechnology and Molecular Biology*. 2020; 21(57–58): 8–16. EDN UVQIOH.
3. Асенова Б.К., Амирханов К.Ж., Ребезов М.Б. Технология производства функциональных продуктов питания для экологически неблагоприятных регионов. *Торгово-экономические проблемы регионального бизнес-пространства. Сборник материалов XI Международной научно-практической конференции*. Челябинск: ЮУрГУ. 2013; 313–316. EDN RFYCTH
4. Рустемова А.Ж., Ребезов М.Б. Применение зернобобовой смеси для хлебобулочных изделий. *Аграрная наука*. 2023; (8): 137–142. <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2023-373-8-137-142>
5. Харлап С.Ю., Горелик О.В., Ребезов М.Б., Беляева Н.В. Современные технологии производства хлеба для здорового питания и его качество. *Инновационные технологии обработки и хранения сельскохозяйственного сырья и пищевых продуктов. Сборник научных трудов к 90-летию ВНИИХ. М.: ВНИИХ; Саратов: Амрит*. 2020; 395–401. EDN UUPWCN
6. 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): 173–179. <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2022-362-9-173-179>

REFERENCES

1. Varivoda A.A., Keniyaz N.V., Rebezov M.B. Development of evidence-based approaches to the design of targeted food products for gerodietary nutrition. *Agrarian science*. 2023; (4): 145–151 (in Russian). <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2023-369-4-145-151>
2. Rebezov M. et al. Role of beetroot as a dietary supplement in food products: Review. *Plant Cell Biotechnology and Molecular Biology*. 2020; 21(57–58): 8–16. EDN UVQIOH.
3. Asenova B.K., Amirhanov K.Zh., Rebezov M.B. Production technology of functional foods-tuffs for environmentally disadvantaged regions. *Trade and economic problems of regional business space. Collection of materials of the XI International scientific and practical conference*. Chelyabinsk: South Ural State University. 2013; 313–316 (in Russian). EDN RFYCTH
4. Rustemova A.Zh., Rebezov M.B. The use of leguminous mixture for bakery products. *Agrarian science*. 2023; (8): 137–142 (in Russian). <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2023-373-8-137-142>
5. Kharlap S.Yu., Gorelik O.V., Rebezov M.B., Belyaeva N.V. Modern technologies for the production of bread for healthy nutrition and its quality. *Innovative technologies for processing and storing agricultural raw materials and food products. Collection of scientific papers for the 90th anniversary of the All-Russian Research Institute of the Refrigeration Industry*. Moscow: All-Russian Research Institute of the Refrigeration Industry; Saratov: Amirit. 2020; 395–401 (in Russian). EDN UUPWCN
6. 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 (in Russian). <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2022-362-9-173-179>

7. Kupchak D.V., Chechenina S.V., Luk'yanova A.N., Snazinov M.A. Тенденции и перспективы совершенствования ассортимента хлебцев хрустящих. *Пищевая промышленность*. 2026; (1): 122–125. <https://doi.org/10.52653/PPI.2026.1.1.025>
8. Скрипко О.В. Хрустящие хлебцы с белково-углеводной мукой для здорового питания. *Международный научно-исследовательский журнал*. 2023; (9). <https://doi.org/10.23670/IRJ.2023.135.41>
9. Скворцова О.Б., Гарькина П.К., Пономарева Е.И. Выбор рациональной дозировки порошка из семян тыквы в рецептуре хрустящих хлебцев. *Хлебобродуцкы*. 2020; (12): 50–51. EDN NZFTLD
10. Пьяникова Э.А., Черемушкина И.В., Ковалева А.Е., Быковская Е.И. Исследование состава сахаров в хлебцах хрустящих, обогащенных яблочным порошком. *Вестник Воронежского государственного университета инженерных технологий*. 2020; 82(1): 157–163. <https://doi.org/10.20914/2310-1202-2020-1-157-163>
11. Ключко Н.Ю., Позднякова Д.А. Исследование по совершенствованию технологии хлебобулочного изделия, обогащенного рыбной белково-минеральной добавкой. *Известия КГТУ*. 2022; 66: 103–111. EDN QHWXAW
12. Серимбетова Ш.А., Ахлан Т.Б., Изембаева А.К. Разработка функциональных хлебцев из растительных компонентов. *Наука, новые технологии и инновации Кыргызстана*. 2025; (1): 16–19. EDN BSVLHO
13. Wang S., Zhao F., Wu W., Lyu L., Li W. Proteins from Blackberry Seeds: Extraction, Osborne Isolate, Characteristics, Functional Properties, and Bioactivities. *International Journal of Molecular Sciences*. 2023; 24(20): 15371. <https://doi.org/10.3390/ijms242015371>
14. Zhou X., Zhang C., Cao W., Zhou C., Zheng H., Zhao L. A Comparative Functional Analysis of Pea Protein and Grass Carp Protein Mixture via Blending and Co-Precipitation. *Foods*. 2021; 10(12): 3037. <https://doi.org/10.3390/foods10123037>
15. Langyan S., Yadava P., Khan F.N., Dar Z.A., Singh R., Kumar A. Sustaining Protein Nutrition Through Plant-Based Foods. *Frontiers in Nutrition*. 2021; 8: 772573. <https://doi.org/10.3389/fnut.2021.772573>
16. Moudgil K.D., Venkatesha S.H. The Anti-Inflammatory and Immunomodulatory Activities of Natural Products to Control Autoimmune Inflammation. *International Journal of Molecular Sciences*. 2023; 24(1): 95. <https://doi.org/10.3390/ijms24010095>
17. Kharisma V.D. et al. Mangostenone Bioactive Compound from *Garcinia mangostana* L. as Antiviral Agent via Dual Inhibitors Against E6 HPV 16/18 Oncoprotein through Computational Simulation. *Research Journal of Pharmacy and Technology*. 2023; 16(11): 5045–5050. <https://doi.org/10.52711/0974-360x.2023.00817>
18. Kuznetsova E. et al. Determination of antioxidants in herbal supplements by HPLC and X-ray electromagnetic field detector in a scanning electron microscope system. *Journal of Microbiology, Biotechnology and Food Sciences*. 2023; 13(2): e10248. <https://doi.org/10.55251/jmbfs.10248>
19. Sunadi et al. Hepatitis E Inhibited by Rosmarinic Acid Extract from Clove Plant (*Syzygium Aromaticum*) through Computational Analysis. *Pharmacognosy Journal*. 2023; 15(4): 518–523. <https://doi.org/10.5530/pj.2023.15.112>
20. Rio-Aige K. et al. A diet rich in fibre and vegetable protein during gestation and lactation shapes maternal immunity, intestinal microbiota and lipid metabolism. *eBioMedicine*. 2025; 117: 105784. <https://doi.org/10.1016/j.ebiom.2025.105784>
21. Náthia-Neves G., Alonso E. Optimization of the subcritical water treatment from sunflower by-product for producing protein and sugar extracts. *Biomass Conversion and Biorefinery*. 2024; 14(2): 1637–1650. <https://doi.org/10.1007/s13399-022-02380-w>
22. de Oliveira Filho J.G., Egea M.B. Sunflower seed byproduct and its fractions for food application: An attempt to improve the sustainability of the oil process. *Journal of Food Science*. 2021; 86(5): 1497–1510. <https://doi.org/10.1111/1750-3841.15719>
23. Vartiya P. et al. Modeling and optimization of protein extraction from sunflower seed Cake: RSM and ANN-GA approaches. *Journal of Agriculture and Food Research*. 2025; 22: 102088. <https://doi.org/10.1016/j.jafr.2025.102088>
24. Qin N., Shuang Q., Bao X. Improvement of gel properties and molecular mechanism of modified sunflower meal protein gel by gellan gum. *Food Chemistry: X*. 2025; 30: 102979. <https://doi.org/10.1016/j.fochx.2025.102979>
7. Kupchak D.V., Chechenina S.V., Luk'yanova A.N., Snazinov M.A. Tendencies and perspectives of improvement of crispbread selection. *Food Industry*. 2026; (1): 122–125 (in Russian). <https://doi.org/10.52653/PPI.2026.1.1.025>
8. Skripko O.V. Crispy breads with protein-carbohydrate flour for healthy diet. *International Research Journal*. 2023; (9) (in Russian). <https://doi.org/10.23670/IRJ.2023.135.41>
9. Skvortsova O.B., Gar'kina P.K., Ponomareva Ye.I. Selection of a rational dosage of pumpkin seed powder in the formulation of crispbread. *Khleboproducky*. 2020; (12): 50–51 (in Russian). EDN NZFTLD
10. Pryanikova E.A., Cheremushkina I.V., Kovaleva A.E., Bykovskaya K.I. The effect of apple powder on the consumption of crispbread. *Proceedings of the Voronezh State University of Engineering Technologies*. 2020; 82(1): 157–163 (in Russian). <https://doi.org/10.20914/2310-1202-2020-1-157-163>
11. Klyuchko N.Yu., Pozdnyakova D.A. Study on the technology improvement of bakery products enriched with a fish protein-mineral additive. *KSTU News*. 2022; 66: 103–111 (in Russian). EDN QHWXAW
12. Serimbetova Sh., Akhlan T., Izembayeva A. Development of functional breads from plant-based components. *Science, New Technologies and Innovations of Kyrgyzstan*. 2025; (1): 16–19 (in Russian). EDN BSVLHO
13. Wang S., Zhao F., Wu W., Lyu L., Li W. Proteins from Blackberry Seeds: Extraction, Osborne Isolate, Characteristics, Functional Properties, and Bioactivities. *International Journal of Molecular Sciences*. 2023; 24(20): 15371. <https://doi.org/10.3390/ijms242015371>
14. Zhou X., Zhang C., Cao W., Zhou C., Zheng H., Zhao L. A Comparative Functional Analysis of Pea Protein and Grass Carp Protein Mixture via Blending and Co-Precipitation. *Foods*. 2021; 10(12): 3037. <https://doi.org/10.3390/foods10123037>
15. Langyan S., Yadava P., Khan F.N., Dar Z.A., Singh R., Kumar A. Sustaining Protein Nutrition Through Plant-Based Foods. *Frontiers in Nutrition*. 2021; 8: 772573. <https://doi.org/10.3389/fnut.2021.772573>
16. Moudgil K.D., Venkatesha S.H. The Anti-Inflammatory and Immunomodulatory Activities of Natural Products to Control Autoimmune Inflammation. *International Journal of Molecular Sciences*. 2023; 24(1): 95. <https://doi.org/10.3390/ijms24010095>
17. Kharisma V.D. et al. Mangostenone Bioactive Compound from *Garcinia mangostana* L. as Antiviral Agent via Dual Inhibitors Against E6 HPV 16/18 Oncoprotein through Computational Simulation. *Research Journal of Pharmacy and Technology*. 2023; 16(11): 5045–5050. <https://doi.org/10.52711/0974-360x.2023.00817>
18. Kuznetsova E. et al. Determination of antioxidants in herbal supplements by HPLC and X-ray electromagnetic field detector in a scanning electron microscope system. *Journal of Microbiology, Biotechnology and Food Sciences*. 2023; 13(2): e10248. <https://doi.org/10.55251/jmbfs.10248>
19. Sunadi et al. Hepatitis E Inhibited by Rosmarinic Acid Extract from Clove Plant (*Syzygium Aromaticum*) through Computational Analysis. *Pharmacognosy Journal*. 2023; 15(4): 518–523. <https://doi.org/10.5530/pj.2023.15.112>
20. Rio-Aige K. et al. A diet rich in fibre and vegetable protein during gestation and lactation shapes maternal immunity, intestinal microbiota and lipid metabolism. *eBioMedicine*. 2025; 117: 105784. <https://doi.org/10.1016/j.ebiom.2025.105784>
21. Náthia-Neves G., Alonso E. Optimization of the subcritical water treatment from sunflower by-product for producing protein and sugar extracts. *Biomass Conversion and Biorefinery*. 2024; 14(2): 1637–1650. <https://doi.org/10.1007/s13399-022-02380-w>
22. de Oliveira Filho J.G., Egea M.B. Sunflower seed byproduct and its fractions for food application: An attempt to improve the sustainability of the oil process. *Journal of Food Science*. 2021; 86(5): 1497–1510. <https://doi.org/10.1111/1750-3841.15719>
23. Vartiya P. et al. Modeling and optimization of protein extraction from sunflower seed Cake: RSM and ANN-GA approaches. *Journal of Agriculture and Food Research*. 2025; 22: 102088. <https://doi.org/10.1016/j.jafr.2025.102088>
24. Qin N., Shuang Q., Bao X. Improvement of gel properties and molecular mechanism of modified sunflower meal protein gel by gellan gum. *Food Chemistry: X*. 2025; 30: 102979. <https://doi.org/10.1016/j.fochx.2025.102979>

25. Pöri P., Aisala H., Liu J., Lille M., Sozer N. Structure, texture, and sensory properties of plant-meat hybrids produced by high-moisture extrusion. *LWT*. 2023; 173: 114345. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2022.114345>
26. Sá A.G.A., Pacheco M.T.B., Moreno Y.M.F., Carciofi B.A.M. Processing effects on the protein quality and functional properties of cold-pressed pumpkin seed meal. *Food Research International*. 2023; 169: 112876. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2023.112876>
27. Pacheco A.F.C. *et al.* Impact of ultrasound on pumpkin seed protein concentrate hydrolysis: Effects on Alcalase, protein, and assisted reaction. *Applied Food Research*. 2023; 3(1): 100281. <https://doi.org/10.1016/j.afres.2023.100281>
28. Habib M., Singh S., Hanan E., Jan K., Bashir K. Optimization of enzymatic hydrolysis for obtaining antioxidant hydrolysates from pumpkin seed protein: Improvement of the physicochemical, structural and functional properties. *Applied Food Research*. 2025; 5(2): 101272. <https://doi.org/10.1016/j.afres.2025.101272>
29. Sarinho A. *et al.* Valorization of pumpkin-seed press-cake and hulls from agri-food waste streams. *Food Chemistry Advances*. 2025; 9: 101147. <https://doi.org/10.1016/j.focha.2025.101147>
30. Rexhepi F. *et al.* Chemical changes of pumpkin seed oils and the impact on lipid stability during thermal treatment: study by FTIR — Spectroscopy. *Journal of Microbiology, Biotechnology and Food Sciences*. 2022; 11(6): e5839. <https://doi.org/10.55251/jmbfs.5839>
31. Kassymov S. *et al.* Using of pumpkin and carrot powder in production of meat cutlets: Effect on chemical and sensory properties. *International Journal of Psychosocial Rehabilitation*. 2020; 24(4): 1663–1670. EDN RDTUES
32. Abilmazhinova B. *et al.* Study chemical and vitamin composition of horsemeat cutlets with addition of pumpkin. *International Journal of Psychosocial Rehabilitation*. 2020; 24(8): 7614–7621. EDN RKIUKF
33. Yang T. *et al.* The impacts of post-anthesis warming on grain yield and quality of double-cropping high-quality *indica* rice in Jiangxi Province, China. *European Journal of Agronomy*. 2022; 139: 126551. <https://doi.org/10.1016/j.eja.2022.126551>
34. Wang X. *et al.* Nitrogen Fertilizer Regulated Grain Storage Protein Synthesis and Reduced Chalkiness of Rice Under Actual Field Warming. *Frontiers in Plant Science*. 2021; 12: 715436. <https://doi.org/10.3389/fpls.2021.715436>
35. Manzoor A. *et al.* Rice bran: Nutritional, phytochemical, and pharmacological profile and its contribution to human health promotion. *Food Chemistry Advances*. 2023; 2: 100296. <https://doi.org/10.1016/j.focha.2023.100296>
36. Siripan T., Bunyaratratchata A., Thammapat P., Bungthong C., Li H., Siriamornpun S. Enzymatic extraction improves functional and phytochemical attributes of rice protein from green and ripe grains. *Food Chemistry: X*. 2025; 32: 103329. <https://doi.org/10.1016/j.fochx.2025.103329>
37. Meza S.L.R. *et al.* Sustainable rice bran protein: Composition, extraction, quality properties and applications. *Trends in Food Science & Technology*. 2024; 145: 104355. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2024.104355>
38. Baeghbal V., Euston S.R., He X., Donetti M., Maklad O., Acharya P. High moisture extrusion based texturization and functional modulation of pea protein isolate through integration with cultivated beef. *Food Hydrocolloids*. 2026; 172(3): 112154. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2025.112154>
39. Lu Z.X., He J.F., Zhang Y.C., Bing D.J. Composition, physicochemical properties of pea protein and its application in functional foods. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*. 2020; 60(15): 2593–2605. <https://doi.org/10.1080/10408398.2019.1651248>
40. Ge J., Sun C.-X., Corke H., Gul K., Gan R.-Y., Fang Y. The health benefits, functional properties, modifications, and applications of pea (*Pisum sativum* L.) protein: Current status, challenges, and perspectives. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*. 2020; 19(4): 1835–1876. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12573>
41. Wu D.-T., Li W.-X., Wan J.-J., Hu Y.-C., Gan R.-Y., Zou L. A Comprehensive Review of Pea (*Pisum sativum* L.): Chemical Composition, Processing, Health Benefits, and Food Applications. *Foods*. 2023; 12(13): 2527. <https://doi.org/10.3390/foods12132527>
42. Zhu J. *et al.* Construction of a predictive model for pea protein solubility evaluation and screening of processing-specific varieties using machine learning after interpretable optimization. *Journal of Food Composition and Analysis*. 2025; 149: 108807. <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2025.108807>
25. Pöri P., Aisala H., Liu J., Lille M., Sozer N. Structure, texture, and sensory properties of plant-meat hybrids produced by high-moisture extrusion. *LWT*. 2023; 173: 114345. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2022.114345>
26. Sá A.G.A., Pacheco M.T.B., Moreno Y.M.F., Carciofi B.A.M. Processing effects on the protein quality and functional properties of cold-pressed pumpkin seed meal. *Food Research International*. 2023; 169: 112876. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2023.112876>
27. Pacheco A.F.C. *et al.* Impact of ultrasound on pumpkin seed protein concentrate hydrolysis: Effects on Alcalase, protein, and assisted reaction. *Applied Food Research*. 2023; 3(1): 100281. <https://doi.org/10.1016/j.afres.2023.100281>
28. Habib M., Singh S., Hanan E., Jan K., Bashir K. Optimization of enzymatic hydrolysis for obtaining antioxidant hydrolysates from pumpkin seed protein: Improvement of the physicochemical, structural and functional properties. *Applied Food Research*. 2025; 5(2): 101272. <https://doi.org/10.1016/j.afres.2025.101272>
29. Sarinho A. *et al.* Valorization of pumpkin-seed press-cake and hulls from agri-food waste streams. *Food Chemistry Advances*. 2025; 9: 101147. <https://doi.org/10.1016/j.focha.2025.101147>
30. Rexhepi F. *et al.* Chemical changes of pumpkin seed oils and the impact on lipid stability during thermal treatment: study by FTIR — Spectroscopy. *Journal of Microbiology, Biotechnology and Food Sciences*. 2022; 11(6): e5839. <https://doi.org/10.55251/jmbfs.5839>
31. Kassymov S. *et al.* Using of pumpkin and carrot powder in production of meat cutlets: Effect on chemical and sensory properties. *International Journal of Psychosocial Rehabilitation*. 2020; 24(4): 1663–1670. EDN RDTUES
32. Abilmazhinova B. *et al.* Study chemical and vitamin composition of horsemeat cutlets with addition of pumpkin. *International Journal of Psychosocial Rehabilitation*. 2020; 24(8): 7614–7621. EDN RKIUKF
33. Yang T. *et al.* The impacts of post-anthesis warming on grain yield and quality of double-cropping high-quality *indica* rice in Jiangxi Province, China. *European Journal of Agronomy*. 2022; 139: 126551. <https://doi.org/10.1016/j.eja.2022.126551>
34. Wang X. *et al.* Nitrogen Fertilizer Regulated Grain Storage Protein Synthesis and Reduced Chalkiness of Rice Under Actual Field Warming. *Frontiers in Plant Science*. 2021; 12: 715436. <https://doi.org/10.3389/fpls.2021.715436>
35. Manzoor A. *et al.* Rice bran: Nutritional, phytochemical, and pharmacological profile and its contribution to human health promotion. *Food Chemistry Advances*. 2023; 2: 100296. <https://doi.org/10.1016/j.focha.2023.100296>
36. Siripan T., Bunyaratratchata A., Thammapat P., Bungthong C., Li H., Siriamornpun S. Enzymatic extraction improves functional and phytochemical attributes of rice protein from green and ripe grains. *Food Chemistry: X*. 2025; 32: 103329. <https://doi.org/10.1016/j.fochx.2025.103329>
37. Meza S.L.R. *et al.* Sustainable rice bran protein: Composition, extraction, quality properties and applications. *Trends in Food Science & Technology*. 2024; 145: 104355. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2024.104355>
38. Baeghbal V., Euston S.R., He X., Donetti M., Maklad O., Acharya P. High moisture extrusion based texturization and functional modulation of pea protein isolate through integration with cultivated beef. *Food Hydrocolloids*. 2026; 172(3): 112154. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2025.112154>
39. Lu Z.X., He J.F., Zhang Y.C., Bing D.J. Composition, physicochemical properties of pea protein and its application in functional foods. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*. 2020; 60(15): 2593–2605. <https://doi.org/10.1080/10408398.2019.1651248>
40. Ge J., Sun C.-X., Corke H., Gul K., Gan R.-Y., Fang Y. The health benefits, functional properties, modifications, and applications of pea (*Pisum sativum* L.) protein: Current status, challenges, and perspectives. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*. 2020; 19(4): 1835–1876. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12573>
41. Wu D.-T., Li W.-X., Wan J.-J., Hu Y.-C., Gan R.-Y., Zou L. A Comprehensive Review of Pea (*Pisum sativum* L.): Chemical Composition, Processing, Health Benefits, and Food Applications. *Foods*. 2023; 12(13): 2527. <https://doi.org/10.3390/foods12132527>
42. Zhu J. *et al.* Construction of a predictive model for pea protein solubility evaluation and screening of processing-specific varieties using machine learning after interpretable optimization. *Journal of Food Composition and Analysis*. 2025; 149: 108807. <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2025.108807>

43. Акопян Г.С., Тихонов С.Л., Тихонова Н.В. Биологическая активация хлебопекарных дрожжей и возможность обогащения продукции хлебопечения пептидами. *Health, Food & Biotechnology*. 2022; 4(3): 49–58. <https://doi.org/10.36107/hfb.2022.i3.s146>

44. Корнен Н.Н., Калманович С.А., Лукьяненко М.В., Вершинина О.Л., Федосеева О.В., Викторова Е.П. Исследование эффективности влияния овощных пищевых добавок на процесс активации хлебопекарных прессованных дрожжей. *Известия высших учебных заведений. Пищевая технология*. 2019; (4): 43–45. <https://doi.org/10.26297/0579-3009.2019.4.11>

ОБ АВТОРАХ

Максим Радикович Салахов¹
магистр биотехнологии
salahov.makson@yandex.ru
<https://orcid.org/0009-0001-9321-9508>

Оксана Владимировна Зинина¹
доктор технических наук, профессор кафедры пищевых и биотехнологий
zininaov@susu.ru
<https://orcid.org/0000-0003-4817-1645>

Елена Александровна Вишнякова¹
аспирант кафедры пищевых и биотехнологий
l_vishny@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0002-8557-9239>

Максим Борисович Ребезов²
доктор сельскохозяйственных наук, профессор,
главный научный сотрудник
rebezov@ya.ru
<https://orcid.org/0000-0003-0857-5143>

¹Южно-Уральский государственный университет, пр-т им. Ленина, 76, Челябинск, 454080, Россия

²Федеральный научный центр пищевых систем им. В.М. Горбатова Российской академии наук, ул. им. Талалихина, 26, Москва, 109316, Россия

43. Akopyan G.S., Tikhonov S.L., Tikhonova N.V. Biological Activation of Baker's Yeast and the Possibility of Enrichment of Bakery Products with Peptides. *Health, Food & Biotechnology*. 2022; 4(3): 49–58 (in Russian). <https://doi.org/10.36107/hfb.2022.i3.s146>

44. Kornen N.N., Kalmanovich S.A., Lukyanenko M.V., Verшинina O.L., Fedoseeva O.V., Viktorova E.P. Study of the effectiveness of the effect of vegetable food additives on the process of activation of bakery pressed yeast. *News of universities. Food Technology*. 2019; (4): 43–45 (in Russian). <https://doi.org/10.26297/0579-3009.2019.4.11>

ABOUT THE AUTHORS

Maksim Radikovich Salakhov¹
Master of Biotechnology
salahov.makson@yandex.ru
<https://orcid.org/0009-0001-9321-9508>

Oksana Vladimirovna Zinina¹
Doctor of Technical Sciences, Professor of the Department of Food and Biotechnology
zininaov@susu.ru
<https://orcid.org/0000-0003-4817-1645>

Elena Aleksandrovna Vishnyakova¹
postgraduate student of the Department of Food and Biotechnology
l_vishny@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0002-8557-9239>

Maksim Borisovich Rebezov²
Doctor of Agricultural Sciences, Professor,
Chief Researcher²
rebezov@ya.ru
<https://orcid.org/0000-0003-0857-5143>

¹South Ural State University, 76 Lenin Ave., Chelyabinsk, 454080, Russia

²Gorbatov Research Center for Food Systems, 26 Talalikhin st., Moscow, 109316, Russia

АГРАРНАЯ НАУКА

AGRARIAN SCIENCE

Ежемесячный научно-теоретический и производственный журнал выходит один раз в месяц.



Научно-теоретический и производственный журнал «Аграрная наука» включен в Перечень ведущих рецензируемых научных изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученых степеней доктора и кандидата наук (К1, К2), в список Russian Science Citation Index (RSCI), в систему Российского индекса научного цитирования (РИНЦ), в ядро РИНЦ, «Белый список» ВАК РФ, в список периодических изданий Международной базы данных AGRIS (ГНУ ЦНСХБ Россельхозакадемии).

Ознакомиться с информацией о перечне специальностей ВАК и итоговом распределении журналов по категориям можно здесь:



Приравнивание научных журналов, входящих в наукометрические базы данных, к журналам Перечня ВАК с распределением по категориям:



Согласно приведенным данным, журнал «Аграрная наука» относится к категории К1.

Подобную информацию о журнале можно получить у научного редактора М.Н. Долгой +7 (495) 777 67 67 (доб. 1453) dolgaya@vicgroup.ru

Реклама