

УДК 664

Влияние белкового гидролизата из мидий на потребительские свойства хрустящих хлебцев

К. Н. Савкина, Ю. А. Кучина*, С. О. Воропаева, С. Р. Деркач, Л. А. Петрова

Мурманский арктический университет, г. Мурманск, Россия;

e-mail: kuchinayua@mauniver.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3419-1442>

Информация о статье *Реферат*

Поступила
в редакцию
10.06.2025;

получена
после доработки
24.09.2025;

принята
к публикации
03.10.2025

Ключевые слова:

мучные изделия,
обогащенные продукты,
мидии, ламинария,
обогащение белком,
белковый гидролизат
из мидий

Использование в производстве мучных изделий нетрадиционных ингредиентов и биологически активных веществ позволяет повысить пищевую и биологическую ценность продукции и обогатить ее полезными нутриентами. Цель исследования – определение возможности использования ферментативного белкового гидролизата из мяса мидий в составе пищевых композиций и разработка рецептуры нового мучного изделия, обогащенного белком. В работе применялись органолептические и физико-химические методы анализа. Белковый гидролизат из мяса мидий изготовлен с использованием ферментного препарата протозим. Полученный гидролизат характеризуется высоким содержанием белковых (не менее 84 мас.%) и минеральных (не более 9,5 мас.%) веществ. Методом гельпроникающей хроматографии установлено, что количество низкомолекулярных фракций белка – биологически активных пептидов с молекулярной массой менее 5 кДа – составляет не менее 19 мас.%. Разработано несколько вариантов рецептур мучного изделия "Хрустящие хлебцы с прованскими травами, обогащенные йодом и белковым гидролизатом" с различным содержанием белкового гидролизата. Введение в состав хрустящих хлебцев гидролизата из мидий в количестве 3 мас.% повышает содержание белка в готовом продукте с 9,2 до 10,5 мас.%. Употребление 100 г обогащенных хлебцев удовлетворяет суточную потребность взрослого человека в белке на 14 %. Повышение дозировки гидролизата до 5 и 7 мас.% увеличивает содержание белка в готовом изделии до значений 10,8 и 11,9 мас.% соответственно.

Для цитирования

Савкина К. Н. и др. Влияние белкового гидролизата из мидий на потребительские свойства хрустящих хлебцев. Вестник МГТУ. 2025. Т. 28, № 4/2. С. 687–699. DOI: <https://doi.org/10.21443/1560-9278-2025-28-4/2-687-699>.

The influence of protein hydrolysate from mussels on consumer properties of crispbreads

Kseniya N. Savkina, Yulia A. Kuchina*, Svetlana O. Voropaeva,
Svetlana R. Derkach, Lyudmila A. Petrova

Murmansk Arctic University, Murmansk, Russia;

e-mail: kuchinayua@mauniver.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3419-1442>

Article info

Received
10.06.2025;

received
in revised form
24.09.2025;

accepted
03.10.2025

Abstract

The use of non-traditional ingredients and biologically active substances in the production of flour products allows us to increase the nutritional and biological value of the product and enrich it with beneficial nutrients. The aim of this study is to determine the feasibility of using enzymatic protein hydrolysate from mussel meat in food compositions and to develop a recipe for a new protein-enriched flour product. Organoleptic and physicochemical analysis methods are used in the study. Protein hydrolysate from mussel meat has been produced using the enzyme preparation Protozyme. The resulting hydrolysate is characterized by a high content of protein (at least 84 % by weight) and minerals (no more than 9.5 % by weight). Gel permeation chromatography has shown that the amount of low-molecular protein fractions – biologically active peptides with a molecular weight of less than 5 kDa – is at least 19 % by weight. Several recipes for the flour product "Crispbread with provencal herbs enriched with iodine and protein hydrolysate" have been developed, each with varying protein hydrolysate contents. Adding 3 % mussel hydrolysate (by weight) to the crispbreads increases the protein content in the finished product from 9.2 to 10.5 %. Consuming 100 g of enriched crispbread satisfies an adult's daily protein requirement by 14 %. Increasing the hydrolysate dosage to 5 and 7 % (by weight) increases the protein content in the finished product to 10.8 and 11.9 %, respectively.

Key words:

flour products,
fortified products,
mussels, kelp,
protein enrichment,
protein hydrolysate
from mussels

For citation

Savkina, K. N. et al. 2025. The influence of protein hydrolysate from mussels on consumer properties of crispbreads. *Vestnik of MSTU*, 28(4/2), pp. 687–699. (In Russ.) DOI: <https://doi.org/10.21443/1560-9278-2025-28-4/2-687-699>.

Введение

В настоящее время все больше людей обращают внимание на здоровое питание как основу здорового образа жизни. Современные тренды в питании подразумевают использование продуктов, в состав которых входят компоненты, повышающие их пищевую и биологическую ценность, так как именно с едой человек получает большинство необходимых пищевых и биологически активных веществ (белков, жиров, углеводов, макро- и микроэлементов, витаминов и др.). Научные исследования показали зависимость между питанием и иммунной системой, поскольку дефицит белка и ключевых микронутриентов, таких как железо, цинк, селен, йод и витамины, может ослабить защитные силы организма (Маюргникова и др., 2020). Статистические исследования по заболеваемости COVID-19 показали, что частота и тяжесть заболеваний связаны с особенностями рациона и недостаточным содержанием функциональных компонентов, входящих в состав потребляемых пищевых продуктов (Баласанян, 2024). Один из способов получения достаточного количества необходимых нутриентов – это потребление обогащенных пищевых продуктов (Johnson et al., 2023). Так, Всемирная организация здравоохранения (ВОЗ) рекомендует обогащение продуктов питания в качестве механизма профилактики заболеваний, обусловленных дефицитом питательных веществ и микроэлементов¹. Обогащение продуктов питания имеет ряд преимуществ: массовость, низкая стоимость, доступность для населения с низкими доходами, возможность контроля качества и безопасности при производстве и реализации. Обогащать нутриентами рекомендуют продукты массового потребления, доступные для всех групп населения и регулярно используемые в повседневном питании. К таким продуктам, в первую очередь, относятся мучные изделия, молоко и кисломолочные продукты, соль, сахар, напитки, продукты детского питания (Pereira et al., 2024; Савлукова и др., 2023; Food Fortification, 2018).

Одна из наиболее эффективных практик обогащения пищевых продуктов микронутриентами началась в середине XX в. с йодирования поваренной соли. В настоящее время, по оценкам ВОЗ, почти три четверти населения земного шара потребляют йодированную соль. Несмотря на это, дефицит йода продолжает оставаться серьезной проблемой, затрагивая почти треть населения планеты (Pearce et al., 2013). Кроме того, в связи с увеличением количества людей, страдающих сердечно-сосудистыми заболеваниями, для которых чрезмерное потребление соли нежелательно, использование данного продукта становится невозможным. Природные источники, такие как морские водоросли, могут служить хорошей заменой традиционному способу обогащения пищевых продуктов йодом. В мире насчитывается более 50 000 видов водорослей, и индустрия производства морских водорослей является одной из самых быстрорастущих (Zhang et al., 2022). В северной части Атлантического океана (Белое и Баренцево моря) распространены бурые водоросли ламинария (*Saccharina latissima*), которые содержат 2,7–3 % йода. Эти водоросли доступны для крупномасштабного сбора и промышленной переработки, что делает их отличным вариантом для обогащения продуктов питания (Шокина и др., 2023).

Другим по значимости важным нутриентом для организма человека является белок, его нехватка может негативно сказаться на здоровье. Белки человек получает из растительных (бобовые, злаки, орехи) и животных (рыба, мясо, молоко и др.) продуктов. Белки водного происхождения содержат в своем составе все незаменимые аминокислоты, характеризуются низким содержанием соединительной ткани и высоким содержанием полиненасыщенных жирных кислот омега-3. Использовать белки в составе пищевых продуктов целесообразно в виде гидролизатов, так как в процессе гидролиза происходит расщепление белковой молекулы на низкомолекулярные фрагменты – пептиды и аминокислоты, которые легче усваиваются организмом человека (Karimi et al., 2021). При этом добавление белкового гидролизата в пищевые композиции может сделать их более привлекательными для потребителя, улучшая вкус, аромат, текстуру и цвет готового изделия (Sinthusamran et al., 2019). Мясо морских моллюсков является перспективным белоксодержащим сырьем для получения белкового гидролизата и биологически активных пептидов (Chakraborty et al., 2020).

Хлеб и хлебобулочные изделия являются важным продуктом питания и пользуются высоким спросом, но имеют недостаточную пищевую и биологическую ценность, что делает их прекрасной основой для создания обогащенных продуктов. Учитывая широкое потребление хлебобулочной продукции, можно предположить, что ее обогащение позволит значительно улучшить пищевую и биологическую ценность рациона в целом (Науменко и др., 2014). В России накоплен положительный опыт обогащения пищевых продуктов, в том числе и хлебобулочных изделий (Заикина, 2020; Ivanova et al., 2023). Так, в РФ разработана "Стратегия повышения качества пищевых продуктов"², направленная на развитие пищевой промышленности

¹ Food Fortification. World Health Organisation (official website). URL: https://www.who.int/health-topics/food-fortification#tab=tab_1 (accessed 08.06.2025).

² Распоряжение Правительства Российской Федерации от 29.06.2016 № 1364-р "Об утверждении Стратегии повышения качества пищевой продукции в Российской Федерации до 2030 года". URL: <https://docs.cntd.ru/document/420363999?section=text>.

для обеспечения населения полноценным питанием, а также улучшения здоровья и повышения качества жизни.

Целью работы является исследование возможности использования ферментативного белкового гидролизата из мидий в составе пищевых композиций и разработка рецептуры нового мучного изделия – хрустящих хлебцев, обогащенных пищевыми и биологически активными нутриентами.

Материалы и методы

Белковый гидролизат получали из мелкоразмерных (некондиционных) мидий (*Mytilus edulis* L.), собранных на побережье Баренцева моря. Мидии разделяли, мягкие ткани (тело моллюска) промывали холодной водопроводной водой для удаления избытка солей и измельчали.

Белковый гидролизат изготавливали по технологии, предложенной в работе (*Derkach et al., 2024*), с использованием ферментного препарата микробного происхождения протозим. Для этого измельченное сырье смешивали с дистиллированной водой в массовом соотношении 1 : 1, доводили параметры реакционной среды до условий, необходимых для эффективной работы фермента (значения pH = 8,2 ± 0,3 ед., температура t = 60 ± 1 °C), и вводили расчетное количество ферментного препарата (СФП = 4 г/1 кг сырья). Ферментолиз проводили в течение 2 ч при постоянном перемешивании. Затем реакционную смесь нагревали до температуры 90–95 °C, негидролизованное сырье удаляли с помощью фильтрации, фильтрат (раствор гидролизата) сушили в лиофильной сушилке.

Химический анализ гидролизата проводили стандартными методами по ГОСТ 7636-85³. Содержание влаги в образцах определяли после их высушивания до постоянной массы при t = 105 ± 5 °C; количество жира определяли методом Сокслета (экстракция растворителем); концентрацию белка – методом Кельдаля, аминный азот – методом формольного титрования, минеральные вещества – методом сжигания образцов в муфельной мечи при t = 550 ± 10 °C.

Эффективность протеолитического расщепления или степень гидролиза (СГ, %) определяли расчетным методом по формуле

$$СГ = \frac{N_{AA}}{N_{OA}} \times 100 \%, \quad (1)$$

где N_{AA} – массовая доля аминного азота (%), N_{OA} – массовая доля общего азота (%).

Молекулярно-массовое распределение гидролизата определяли методом гельпроникающей хроматографии. Условия разделения: элюент 0,5M раствор уксусной кислоты, скорость потока 0,8 мл/мин, T = 30 °C, детектор ELSD (низкотемпературный испарительный детектор светорассеяния). Колонка: TSK-GEL G3000SWXL, 7,8 mm ID × 30,0 cm L, 5 μm.

Ингредиенты, используемые при изготовлении хлебцев, такие как мука пшеничная хлебопекарная высшего сорта, соль пищевая, масло подсолнечное рафинированное дезодорированное, пряности "Прованская травы" (в составе: тимьян, розмарин, шалфей, базилик, чабрец, перечная мята, орегано, майоран) были куплены в супермаркете. Коммерческие образцы ламинарии, собранной в Белом море, произведены ООО "АВК" (Архангельский водорослевый комбинат, г. Архангельск, Россия).

Мучное изделие "Хрустящие хлебцы с прованскими травами, обогащенные йодом и белковым гидролизатом" выпекали согласно рецептуре и по технологии, предложенной в работе (*Савкина и др., 2024а; 2024б*) с небольшими изменениями, а именно: на этапе добавления воды в ней предварительно растворяли белковый гидролизат в количестве от 1 до 3 % от массы муки. Технология изготовления мучного изделия кратко может быть описана следующим образом. В муку добавляли водный раствор гидролизата, подсолнечное масло, смесь сушеных измельченных пряных трав, порошок ламинарии и соль, после чего замешивали тесто. Тесто выдерживали при температуре от 4 ± 2 °C не менее 60 мин и раскатывали. Затем формовали хлебцы в виде прямоугольников размером (50 ± 5) × (15 ± 2) мм и толщиной 1,5 ± 0,5 мм. Полученные заготовки выпекали при температуре 175 ± 5 °C в течение 20–25 мин. Готовый продукт охлаждали до температуры не выше 18 ± 2 °C, расфасовывали в потребительскую упаковку (ламированные картонные коробки или пакеты из полимерных материалов с картонными подложками). Полученные хлебцы хранили до реализации при температуре 18 ± 2 °C, срок хранения – не более 60 сут.

Анализ полученных образцов хрустящих хлебцев проводили стандартными методами. Содержание влаги в образцах определяли после их высушивания до постоянной массы при t = 135 ± 5 °C по ГОСТ 21094-75⁴, количество минеральных веществ – методом сжигания образцов в муфельной мечи при t = 500 ± 10 °C; массовую долю общего азота – методом Кельдаля по ГОСТ 25832-89⁵.

³ ГОСТ 7636-85. Межгосударственный стандарт. Рыба, морские млекопитающие, морские беспозвоночные и продукты их переработки. Методы анализа. Введен 01.01.1986. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200022224>.

⁴ ГОСТ 21094-2022. Изделия хлебобулочные. Методы определения влажности. Введен 01.07.2023. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200193710>.

⁵ ГОСТ 25832-89. Изделия хлебобулочные диетические. Технические условия. Введен 01.07.1990. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200006139>.

Органолептическая оценка экспериментальных образцов хрустящих хлебцев проводилась на кафедре технологий пищевых производств в Мурманском арктическом университете с использованием метода балльной шкалы. Была разработана пятибалльная шкала, на основе которой были определены комплексные и индивидуальные показатели качества, рассчитаны коэффициенты значимости и дано словесное описание для каждого уровня качества и соответствующей оценки. Продукты оценивались по внешнему виду, вкусу, аромату и консистенции по ГОСТ 5667-65⁶. Эти критерии вычислялись количественно в баллах, а общий балл по органолептической оценке был определен сложением значений каждого критерия с учетом его коэффициента значимости.

Статистический анализ результатов выполнен с помощью метода наименьших квадратов, автоматизированное проектирование оптимальных рецептур новых продуктов питания – методом нечетких множеств (нечеткого логического вывода) с использованием программного пакета MATLAB (блок Fuzzy Logic)⁷.

Результаты и обсуждение

Получен белковый гидролизат из мидий и изучены его физико-химические свойства, результаты представлены в табл. 1 и на рис. 1. Гидролизат представлял собой однородный мелкодисперсный порошок желтого цвета, хорошо растворимый в воде, без постороннего запаха.

Таблица 1. Физико-химические свойства белкового гидролизата

Table 1. Physical and chemical properties of protein hydrolysate

Показатель	Белковый гидролизат
Влага, мас.%	4,6 ± 0,2
Зола, мас.%	9,5 ± 0,1
Общий азот, мас.% (N_{OA})	13,5 ± 0,1
Белок*, мас.%	84,4 ± 0,5
Липиды, мас.%	1,1 ± 0,1
Аминный азот, мас.% (N_{AA})	3,2 ± 0,2
Степень гидролиза, % (СГ)	23,7 ± 0,2

Примечание. * Массовую долю белка определяли умножением массовой доли общего азота на коэффициент 6,25 (ГОСТ 7636-85).

Анализ данных, представленных в табл. 1, показал, что полученный гидролизат характеризуется высоким содержанием белковых (не менее 84 мас.%) и минеральных (9,5 мас.%) веществ, количество жиров не превышает 1,1 мас.%.

Для описания глубины гидролиза используют такие характеристики, как степень гидролиза и молекулярно-массовое распределение продуктов гидролиза. Показатель "степень гидролиза" определяют как долю (в %) пептидных связей, расщепленных в процессе гидролиза, в общем количестве пептидных связей. Полученный гидролизат характеризуется высокой степенью гидролиза – 23,7 %, что свидетельствует о наличии большого количества низкомолекулярных пептидов. Для качественной характеристики процесса расщепления необходимо изучить молекулярно-массовое распределение белков. Известно, что гидролизаты, содержащие в своем составе белковые фрагменты с молекулярной массой менее 5 кДа, используются для получения лечебно-профилактических препаратов, так как они содержат биоактивные пептиды (*Suleria et al., 2016*). Биоактивные пептиды представляют собой фрагменты белковой молекулы, которые проявляют особые свойства (антибиотические, противораковые, противовоспалительные и др.) при отделении от исходного белка (*Cunha et al., 2021; Ishak et al., 2018*).

Молекулярно-массовое распределение ферментативного белкового гидролизата из мидий приведено на рис. 1 и табл. 2.

Анализ данных показал, что гидролизат имеет широкое молекулярно-массовое распределение и содержит не менее шести белковых фракций, причем доля низкомолекулярных фракций с ММ ≤ 5 кДа (пики 5 и 6) составляет 19,1 %. Среднемассовая молекулярная масса, рассчитанная по правилу аддитивности, составила 18,0 кДа. Исследование показало, что полученный белковый гидролизат может быть использован

⁶ ГОСТ 5667-2022. Изделия хлебобулочные. Правила приемки, методы отбора образцов, методы определения органолептических показателей и массы изделий. Введен 01.07.2023. URL: <https://docs.cntd.ru/document/350939603>.

⁷ Луковкин С. Б. Элементы нечеткой логики в компьютерном моделировании: методические указания по дисциплине "Компьютерное моделирование" для студентов технических специальностей очной формы обучения. Мурманск : Изд-во МГТУ. 2011. 38 с.

в качестве обогащающего компонента, так как содержит не менее 84 мас.% белка и более 19 % биоактивных пептидов.

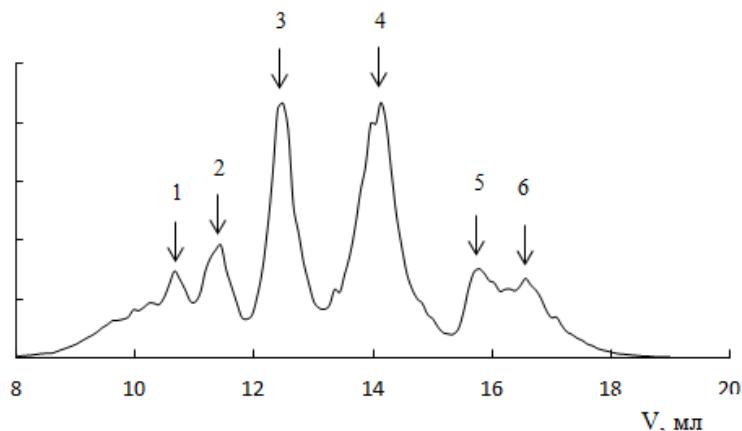


Рис. 1. Молекулярно-массовое распределение белкового гидролизата из мяса мидий
Fig. 1. Molecular weight distribution of protein hydrolysate from mussels meat

Таблица 2. Молекулярно-массовое распределение белкового гидролизата из мяса мидий

Table 2. Molecular weight distribution of protein hydrolysate from mussels meat

Номер белковой фракции	Молекулярная масса фракции M_w , кДа	Доля каждой фракции ω , % *
1	46,2	14,1
2	27,9	9,7
3	21,6	22,8
4	10,9	33,9
5	1,9	8,0
6	0,4	11,1

Примечание. * Доля каждой фракции определена с помощью распределения Гаусса.

Возможность использования гидролизата в составе пищевых композиций оценивали по микробиологическим показателям безопасности и содержанию токсичных элементов. Было проведено исследование в Мурманском центре метрологии и стандартизации, которое показало, что микробиологические показатели безопасности белкового гидролизата из мидий, полученного с помощью протозима, соответствуют требованиям Технического регламента Таможенного союза "О безопасности пищевой продукции" (ТР ТС 021/2011⁸). Содержание токсичных элементов (кадмий, свинец, ртуть, мышьяк) не превышает ПДК, установленных нормативной документацией.

В ходе работы за основу была взята рецептура хлебцев с прованскими травами, обогащенных йодом путем добавления ламинарии (*Савкина и др., 2024а*). Проведенные исследования показали целесообразность использования ламинарии пищевой сушеной ООО "АВК" в технологии новых мучных изделий – хлебцев ржаных, обогащенных йодом. Экспериментально установлено, что содержание йода в сухом порошке ламинарии составляет от 0,38 до 0,42 % в пересчете на сухое вещество. Кроме того, в работе (*Шокина и др., 2023*) рассчитана дозировка ингредиента в рецептуре хлебцев, что позволяет классифицировать готовый продукт как обогащенный в соответствии с требованиями ГОСТ Р 52349-2005⁹. Хлебцы были выбраны в качестве основы для обогащения, поскольку это широко потребляемый продукт питания, а обогащение хлеба является эффективным, безопасным и технологически осуществимым (*Савкина и др., 2021*). Содержание влаги в хлебцах не должно превышать 9 %, что является оптимальным при использовании такого ингредиента, как белковый гидролизат, так как более высокие значения влажности готового продукта приводят к существенному сокращению срока годности.

В данном исследовании разработано несколько вариантов рецептур хрустящих хлебцев с различным содержанием белкового гидролизата и приправы "Прованская травы" (табл. 3), что позволило оценить влияние количества гидролизата на органолептические свойства конечного продукта. На рис. 2 в качестве примера представлен внешний вид образца 3.

⁸ ТР ТС 021/2011. Технический регламент Таможенного союза "О безопасности пищевой продукции" (с изменениями на 22 апреля 2024 года). URL: <https://docs.cntd.ru/document/902320560?ysclid=mh4mea0jxi946586413>.

⁹ ГОСТ Р 52349-2005. Продукты пищевые. Продукты пищевые функциональные. Термины и определения. Введен 01.07.2006. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200039951>.

Таблица 3. Опытные варианты содержания ингредиентов для автоматизированного проектирования и оптимизации рецептуры хрустящих хлебцев

Table 3. Experimental ingredient content options for automated design and optimization of crispbread recipes

Компонент	Масса, г					
	1	2	3	4	5	Контроль
Мука пшеничная	120,8 ± 0,5	118,4 ± 0,5	119,6 ± 0,5	119,6 ± 0,5	119,6 ± 0,5	122,0 ± 0,5
Белковый гидролизат	1,2 ± 0,1	3,6 ± 0,1	2,4 ± 0,1	2,4 ± 0,1	2,4 ± 0,1	—
Вода	66 ± 1	66 ± 1	66 ± 1	66 ± 1	66 ± 1	66 ± 1
Масло подсолнечное	32,5 ± 0,5	32,5 ± 0,5	32,5 ± 0,5	32,5 ± 0,5	32,5 ± 0,5	32,5 ± 0,5
Водоросли сушеные	3,2 ± 0,1	3,2 ± 0,1	3,2 ± 0,1	3,2 ± 0,1	3,2 ± 0,1	3,2 ± 0,1
Соль	2,3 ± 0,1	2,3 ± 0,1	2,3 ± 0,1	2,3 ± 0,1	2,3 ± 0,1	2,3 ± 0,1
Пряности "Прованские травы"	6,8 ± 0,1	6,8 ± 0,1	6,8 ± 0,1	11,3 ± 0,1	9,0 ± 0,1	9,0 ± 0,1



Рис. 2. Мучное изделие "Хрустящие хлебцы с прованскими травами, обогащенные йодом и белковым гидролизатом" (образец 3)

Fig. 2. Flour product "Crispbreads with Provencal herbs enriched with iodine and protein hydrolysate" (sample 3)

Зависимость между количеством гидролизата, используемого при изготовлении хлебцев, и содержанием белковых веществ в готовом изделии представлена в табл. 4.

Таблица 4. Содержание белка в готовом изделии
Table 4. Protein content in the finished product

Образец	Количество гидролизата		Массовая доля общего азота, %	Массовая доля белка (P)*, %	Суточная потребность**, %
	% к массе муки	% к массе п/ф теста			
Контроль	0	0	1,61 ± 0,05	9,2 ± 0,1	12,3
1	1,0 ± 0,1	0,60 ± 0,05	1,67 ± 0,05	9,5 ± 0,1	12,7
2	3,0 ± 0,1	1,60 ± 0,05	1,84 ± 0,05	10,5 ± 0,1	14,0
3	2,0 ± 0,1	1,10 ± 0,05	1,72 ± 0,05	9,8 ± 0,1	13,1
4	2,0 ± 0,1	1,10 ± 0,05	1,70 ± 0,05	9,7 ± 0,1	12,9
5	2,0 ± 0,1	1,10 ± 0,05	1,73 ± 0,05	9,9 ± 0,1	13,2

Примечание. * Массовую долю белка определяли умножением массовой доли общего азота на коэффициент 5,7 (ГОСТ 25832-89). ** Результат представлен для 100 г готовой продукции из расчета, что физиологическая суточная потребность для взрослого человека составляет 75,0 г белка в сутки¹⁰.

Анализ данных, представленных в табл. 4, показал, что введение в состав мучного изделия белкового гидролизата в количестве 1–2 мас.% приводит к увеличению количества белка в хлебцах на 3–7 % по сравнению с контрольным образцом, до значений 9,5–9,9 мас.% соответственно. При добавлении гидролизата в количестве 3 %, содержание белка в готовом продукте повышается на 14 % до значения 10,5 мас.%, что составляет 14,0 % от суточной нормы потребления.

¹⁰ ТР ТС 022/2011. Технический регламент Таможенного союза "Пищевая продукция в части ее маркировки" (с изменениями на 22 апреля 2024 года). URL: <https://docs.cntd.ru/document/902320347?section=text>.

При автоматизированном проектировании оптимальной рецептуры мучного изделия использовали программный пакет Matlab. Фактором, определяющим органолептические свойства готового изделия при установленных технологических режимах изготовления, является соотношение компонентов в рецептуре, в наибольшей степени формирующих потребительские свойства – вкус и аромат, внешний вид и консистенцию. Для изделия "Хрустящие хлебцы с прованскими травами, обогащенные йодом и белковым гидролизатом" такими компонентами являются белковый гидролизат и приправа "Прованская трава". Варырование долей компонентов рецептуры, выбранных в качестве влияющих факторов, осуществляли за счет пропорционального изменения массы нетто муки в составе сырьевого набора. Параметром оптимизации выбран комплексный показатель, характеризующий органолептическую оценку опытных образцов хлебцев и массовую долю белка в готовом изделии.

На рис. 3 представлен суммарный балл органолептической оценки всех пяти опытных образцов хлебцев.

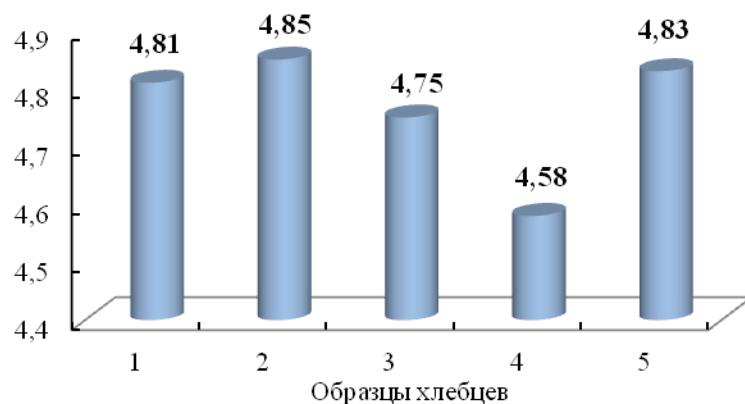


Рис. 3. Суммарный балл органолептической оценки опытных образцов изделия "Хрустящие хлебцы с прованскими травами, обогащенные йодом и белковым гидролизатом"

Fig. 3. The total score of organoleptic evaluation of experimental samples of the product "Crispbreads with Provencal herbs enriched with iodine and protein hydrolysate"

Самый высокий балл получил образец 2 с содержанием белкового гидролизата в количестве 3 мас.% и пряности "Прованская трава" в количестве 3 мас.%. При увеличении смеси пряных трав до 5 мас.% органолептическая оценка снижается (образец 4).

Далее была проведена оптимизация предложенных рецептур с учетом дегустационных испытаний в программе Fuzzy Logic Toolbox пакета MatLab. Математическое моделирование выполнено с учетом правил, характеризующих условия эксперимента (табл. 5). Принятые обозначения переменных для формирования базы правил: X_1 – количество гидролизата, X_2 – количество пряных трав, X_3 – комплексный показатель. Комплексный показатель X_3 рассчитывали по формуле

$$X_3 = 0,65 \frac{\text{ОБ}_{\text{факт}}}{\text{ОБ}_{\text{эт}}} + 0,35 \frac{P_{\text{факт}}}{P_{\text{эт}}}, \quad (2)$$

где $\text{ОБ}_{\text{факт}}$ – органолептический балл фактический; $\text{ОБ}_{\text{эт}}$ – органолептический балл эталонный; $P_{\text{факт}}$ – массовая доля белка фактическая, %; $P_{\text{эт}}$ – массовая доля белка эталонная, % ($P_{\text{эт}} = 10,9\%$).

Таблица 5. База знаний (правила), характеризующая условия эксперимента
 Table 5. Knowledge base (rules) characterizing the experimental conditions

№ правила	Правила	Коэффициент весомости
1	Если X_1 "мало" и X_2 "среднее", то X_3 "желательно" (0,921)	1,0
2	Если X_1 "много" и X_2 "среднее", то X_3 "очень желательно" (0,966)	1,0
3	Если X_1 "среднее" и X_2 "мало", то X_3 "желательно" (0,943)	1,0
4	Если X_1 "среднее" и X_2 "много", то X_3 "удовлетворительно" (0,899)	1,0
5	Если X_1 "среднее" и X_2 "среднее", то X_3 "желательно" (0,940)	0,8

Результаты проектирования оптимальной рецептуры представлены на рис. 4 в виде скриншотов пользовательского экрана в программе Fuzzy Logic Toolbox пакета MatLab.

Для нахождения оптимального рецептурного состава нового мучного изделия по экспертным оценкам, полученным при дегустации образцов продукции, была разработана модель оптимизации. Влияющими факторами для оптимизации выбраны компоненты рецептуры, в наибольшей степени формирующие потребительские свойства изделия, а именно количество белкового гидролизата и пряных трав. Для разработки модели сформулированы правила, представленные в табл. 4. Анализ визуализации нечеткого вывода по сформулированным правилам позволил найти результирующее нечеткое множество. Четкое значение логического вывода составило для белкового гидролизата 2 мас.% от массы муки, для пряности "Прованские травы" – 4 мас.% от массы нетто полуфабриката теста (рис. 4, *a*). Результаты моделирования представлены в графическом виде с использованием модуля Surface Viewer (рис. 4, *б*). Таким образом, аппарат нечеткой логики позволил определить оптимальное соотношение рецептурных ингредиентов при проектировании нового мучного изделия "Хлебцы с прованскими травами, обогащенные йодом и белковым гидролизатом".

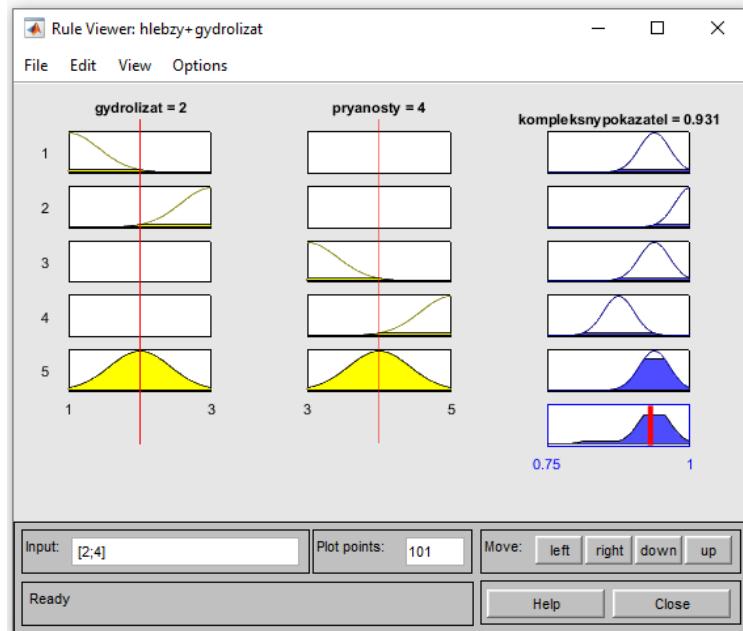
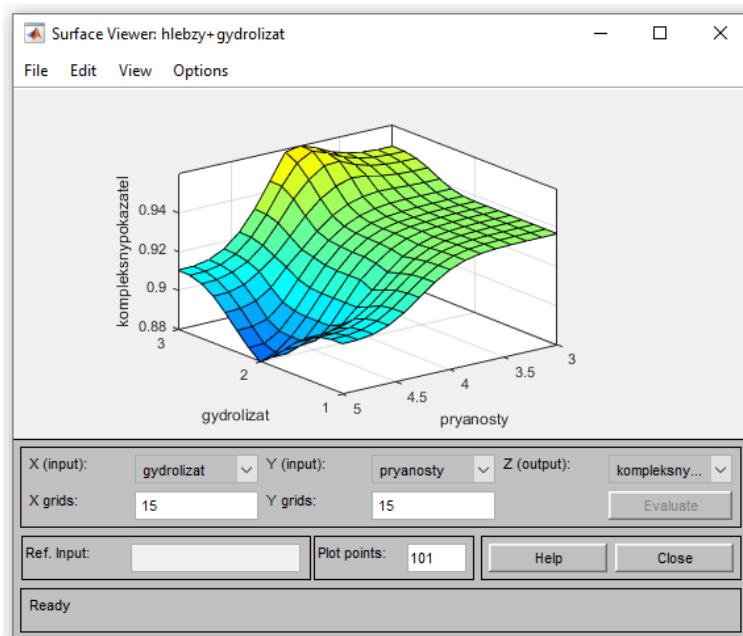
*a**б*

Рис. 4. Результаты проектирования оптимальной рецептуры хрустящих хлебцев:

a – визуализация нечеткого вывода; *б* – поверхность отклика

Fig. 4. Results of designing the optimal recipe for crispbread:

a – visualization of fuzzy inference; *б* – response surface

Полученные оптимальные значения ключевых компонентов рецептуры, формирующих потребительские свойства хлебцев, учтены в рецептуре, представленной в табл. 6.

Таблица 6. Оптимальная рецептура мучного изделия "Хрустящие хлебцы с прованскими травами, обогащенные йодом и белковым гидролизатом"

Table 6. Optimal recipe of the flour product "Crispbreads with Provencal herbs enriched with iodine and protein hydrolysate"

Компонент	Масса, г	
	Брутто	Нетто
Мука пшеничная*	124 ± 1	120 ± 1
Вода	66 ± 1	66 ± 1
Масло подсолнечное	32,5 ± 0,5	32,5 ± 0,5
Водоросли сушеные	3,2 ± 0,1	3,2 ± 0,1
Соль	2,3 ± 0,1	2,3 ± 0,1
Пряности "Прованская травы"	9,0 ± 0,1	9,0 ± 0,1
Белковый гидролизат	2,4 ± 0,1	2,4 ± 0,1
Выход	—	200 ± 1

Примечание. * Потери муки при просеивании не более 3 % от массы.

В ходе расширенной дегустации при определении органолептических показателей было установлено, что за счет высокой доли пряностей не удалось определить влияние гидролизата на вкус и запах готового продукта. Кроме того, в рассмотренном диапазоне варьирования компонентов невозможно найти оптимум (поверхность отклика имеет форму седла), однако имеется явная тенденция к получению продукта с высоким содержанием белка (рис. 4, б). Было проведено дополнительное исследование по изучению влияния повышенных концентраций гидролизата на органолептические показатели готового изделия. Для этого из рецептуры хлебцев убрали один ингредиент – пряности "Прованская травы". Варианты рецептур опытных образцов хрустящих хлебцев с содержанием гидролизата в количестве 5 и 7 мас.% от массы муки (образцы 6 и 7 соответственно) представлены в табл. 7. Внешний вид хлебцев, обогащенных йодом и белковым гидролизатом, представлен на рис. 5.

Таблица 7. Варианты рецептур опытных образцов хрустящих хлебцев

с повышенным содержанием белкового гидролизата

Table 7. Variants of recipes for experimental samples of crispbreads with increased content of protein hydrolysate

Компонент	Масса, г		
	Контроль	Образец 6	Образец 7
Мука пшеничная	122 ± 1	116 ± 1	113 ± 1
Вода	66 ± 1	66 ± 1	66 ± 1
Масло подсолнечное	32,5 ± 0,5	32,5 ± 0,5	32,5 ± 0,5
Водоросли сушеные	3,2 ± 0,1	3,2 ± 0,1	3,2 ± 0,1
Соль	2,3 ± 0,1	2,3 ± 0,1	2,3 ± 0,1
Белковый гидролизат	—	6,1 ± 0,1	8,5 ± 0,1



а



б



в

Рис. 5. Внешний вид хрустящих хлебцев, обогащенных йодом и белковым гидролизатом:
 а – контроль; б – содержание гидролизата 5 мас.%; в – содержание гидролизата 7 мас.%

Fig. 5. Appearance of crispbreads enriched with iodine and protein hydrolysate:

а – control; б – hydrolyzate content 5 mas.%; в – hydrolyzate content 7 mas.%

На рис. 6 представлен суммарный балл органолептической оценки опытных образцов хрустящих хлебцев, обогащенных йодом и белковым гидролизатом.

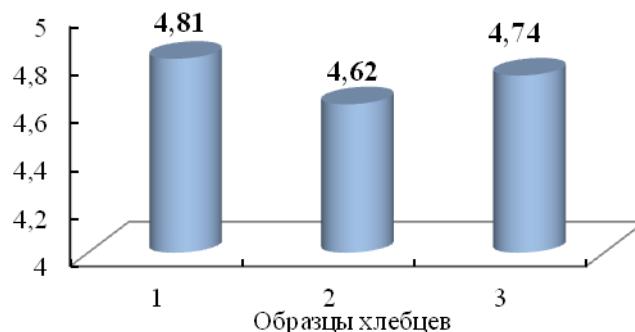


Рис. 6. Суммарный балл органолептической оценки опытных образцов хрустящих хлебцев,

обогащенных йодом и белковым гидролизатом:

1 – контроль; 2 – содержание гидролизата 5 мас.%; 3 – содержание гидролизата 7 мас.%

Fig. 6. Total score of organoleptic evaluation of experimental samples of crispbreads enriched with iodine and protein hydrolysate:

1 – control; 2 – hydrolyzate content 5 mas.%; 3 – hydrolyzate content 7 mas.%

Химические свойства полученных хлебцев, обогащенных белковым гидролизатом, представлены в табл. 8.

Таблица 8. Химический состав хрустящих хлебцев, обогащенных йодом и белковым гидролизатом

Table 8. Chemical composition of crispbreads enriched with iodine and protein hydrolysate

Показатель	Количество белкового гидролизата, % к массе муки		
	Контроль	5	7
Влага, мас.%	5,2 ± 0,1	9,6 ± 0,1	6,8 ± 0,1
Зола, мас.%	2,3 ± 0,1	2,7 ± 0,1	3,0 ± 0,1
Липиды, мас.%	9,5 ± 0,1	10,2 ± 0,1	10,0 ± 0,2
Общий азот, %	1,6 ± 0,1	1,9 ± 0,1	2,1 ± 0,1
Белок*, мас.%	9,0 ± 0,1	10,8 ± 0,1	11,9 ± 0,1
Углеводы, мас.%	74,0 ± 0,1	66,7 ± 0,1	68,3 ± 0,1
Суточная потребность**, %	12,0 ± 0,1	14,4 ± 0,1	15,9 ± 0,1

Примечание. * Массовую долю белка определяли умножением массовой доли общего азота на коэффициент 5,7 (ГОСТ 25832-89). ** Результат представлен для 100 г готовой продукции из расчета, что физиологическая суточная потребность для взрослого человека составляет 75,0 г белка в сутки.

Анализ химического состава хлебцев (табл. 8) показал, что введение в состав мучного изделия белкового гидролизата в количестве 5–7 мас.% от массы муки приводит к увеличению содержания белка в хлебцах на 20–32 % по сравнению с контрольным образцом (до значений 10,8–11,9 мас.%), что составляет 19,2–21,2 % от суточной нормы потребления. По результатам дегустации было выявлено незначительное ухудшение вкусовых характеристик хрустящих хлебцев, что связано с усилением соленого вкуса, придаваемого гидролизатом. В дальнейшем предполагается работа по совершенствованию рецептуры путем изменения соотношения компонентов соль/гидролизат/мука.

Заключение

Ферментативный белковый гидролизат из мяса мидий может быть использован как обогащающий компонент в составе пищевых композиций, так как содержит не менее 84 мас.% гидролизованного белка, причем 19,1 % – это биоактивные пептиды с молекулярной массой менее 5 кДа. Введение в состав хлебцев полученного гидролизата в количестве 3 мас.% от массы муки позволит увеличить содержание белка в готовом продукте с 9,2 до 10,5 мас.%. Употребление 100 г обогащенных хлебцев удовлетворяет суточную потребность в белке на 14 %. Методом математического моделирования с использованием программного пакета Matlab было определено оптимальное соотношение рецептурных ингредиентов нового мучного изделия "Хрустящие хлебцы с прованскими травами, обогащенные йодом и белковым гидролизатом". Увеличение дозировки белкового гидролизата в рецептуре мучного изделия до значений 5 и 7 мас.% приводит к повышению количества белка в готовом изделии на 20 и 32 % соответственно. Однако результаты дегустационных испытаний показали, что введение белкового гидролизата более 3 % от массы муки незначительно снижает органолептическую оценку за счет усиления соленого вкуса. Дальнейшие исследования в этой области будут способствовать созданию разнообразных и полезных продуктов питания.

Благодарности

Работы по получению и изучению свойств белкового гидролизата выполнены на базе научно-исследовательской лаборатории "Химия и технология морских биоресурсов" Мурманского арктического университета при поддержке Министерства науки и высшего образования РФ (FENR-2024-0001, соглашение № 075-03-2024/1 от 15.02.2024 г.)

Работы по изготовлению и оптимизации рецептурного состава нового мучного изделия выполнены при поддержке научно-образовательного центра мирового уровня "Российская Арктика: новые материалы, технологии и методы исследования" (Договор НИР № Д-1357.2024 от 15.10.2024).

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Библиографический список

- Баласанян С. Ю. Обогащенные продукты питания стратегии улучшения пищевой ценности // Инновационная наука. 2024. № 1–1. С. 12–21. EDN: BCWCKA.
- Заикина М. А. Применение йодсодержащего пектинового экстракта в технологии хлеба // Технологии пищевой и перерабатывающей промышленности АПК – продукты здорового питания. 2020. № 4. С. 8–14. EDN: IRMUAD.
- Маюрикова Л. А., Кокшаров А. А., Крапива Т. В., Новоселов С. В. Обогащение пищевых продуктов как фактор профилактики микронутриентной недостаточности // Техника и технология пищевых производств. 2020. Т. 50, № 1. С. 124–139. DOI: <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2020-1-124-139>. EDN: NPHEOS.
- Науменко Н. В., Калинина И. В. Анализ направлений развития рынка хлебобулочных изделий // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Сер.: Пищевые и биотехнологии. 2014. Т. 2, № 4. С. 11–16. EDN: SZHZXV.
- Савкина К. Н., Новожилова Е. А., Симутина Н. Н., Шокина Ю. В. Обоснование и разработка технологии продукции, обогащенной йодом ламинарии беломорской // Инновационное развитие рыбной отрасли в контексте обеспечения продовольственной безопасности Российской Федерации : материалы VII нац. науч.-техн. конф., Владивосток, 22 декабря 2023 г. Владивосток : Дальрыбвтуз, 2024б. С. 126–133. DOI: <https://doi.org/10.48612/dalrybvtuz/NNTK2023-11>. EDN: NOBLEO.
- Савкина К. Н., Шокина Ю. В. Исследование регионального рынка мучных изделий с целью обоснования разработки инновационных технологий продукции, обогащенной йодом // Известия высших учебных заведений. Арктический регион. 2021. № 1. С. 26–38. EDN: CGUSWO.
- Савкина К. Н., Шокина Ю. В. Разработка технологии производства обогащенного йодом мучного изделия // Инновационные направления интеграции науки, образования и производства : сб. материалов V междунар. науч.-практ. конф., Феодосия, 19–22 мая 2024 года. Керчь : КМГТУ, 2024а. С. 283–288. EDN: GICJYH.
- Савлукова Ю. О., Ковалева Е. Г. Получение функционального йогурта, обогащенного йодом в биодоступной форме // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Сер.: Пищевые и биотехнологии. 2023. Т. 11, № 2. С. 83–92. DOI: <https://doi.org/10.14529/food230210>. EDN: HMHNLC.
- Шокина Ю. В., Савкина К. Н., Симутина Н. Н., Василевич В. В. [и др.]. Ламинария производства Архангельского водорослевого комбината в технологиях продуктов питания, обогащенных йодом: опыт разработки и перспективы коммерциализации // Рыбное хозяйство. 2023. № 1. С. 102–108. DOI: <https://doi.org/10.37663/0131-6184-2023-1-102-108>. EDN: JKJXRU.
- Chakraborty K., Joy M. High-value compounds from the molluscs of marine and estuarine ecosystems as prospective functional food ingredients: An overview // Food Research International. 2020. Vol. 137. Article number: 109637. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2020.109637>.
- Cunha S. A., de Castro R., Coscueta E. R., Pintado M. Hydrolysate from mussel *Mytilus galloprovincialis* meat: Enzymatic hydrolysis, optimization and bioactive properties // Molecules. 2021. Vol. 26, Iss. 17. Article number: 5228. DOI: <https://doi.org/10.3390/molecules26175228>.
- Derkach S., Kuchina Yu., Kolotova D., Bordiyani V. [et al.]. Protein hydrolysates from *Mytilus edulis* L. mussel: Physicochemical and antioxidant properties // BIO Web of Conferences. 2024. Vol. 130. Article number: 05006. DOI: <https://doi.org/10.1051/bioconf/202413005006>.
- Food Fortification in a Globalized World / eds.: M. G. Venkatesh Mannar, R. Hurrell. Elsevier Inc. 2018.
- Ishak N. H., Sarbon N. M. A review of protein hydrolysates and bioactive peptides deriving from wastes generated by fish processing // Food and Bioprocess Technology. 2018. Vol. 11. P. 2–16. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11947-017-1940-1>.
- Ivanova G., Kolman O., Glotova M., Nikulina M. [et al.]. New types of flour confectionery products for preventive nutrition using *Laminaria saccharina* // E3S Web of Conferences. 2023. Vol. 390. Article number: 02021. DOI: <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202339002021>.
- Johnson E., Suresh A., Joseph J. A review of the need for biofortified foods to combat malnutrition // Asia-Pacific Journal of Pharmacotherapy and Toxicology. 2023. Vol. 3. P. 1–6. DOI: <https://doi.org/10.32948/ajpt.2023.08.07>.

- Karimi A., Gavighi H. A., Sarteshnizi R. A., Udenigwe C. C. Effect of maize germ protein hydrolysate addition on digestion, *in vitro* antioxidant activity and quality characteristics of bread // Journal of Cereal Science. 2021. Vol. 97. Article number: 103148. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2020.103148>.
- Pearce E. N., Andersson M., Zimmermann M. B. Global iodine nutrition: Where do we stand in 2013? // Thyroid. 2013. Vol. 23, N 5. P. 523–528. DOI: <https://doi.org/10.1089/thy.2013.0128>.
- Pereira T., Costa S., Barroso S., Teixeira P. [et al.]. Development and optimization of high-protein and low-saturated fat bread formulations enriched with lupin and microalgae // LWT. 2024. Vol. 191. Article number: 115612. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2023.115612>.
- Sinthusamran S., Benjakul S., Kijroongrojana K., Prodpran T. Chemical, physical, rheological and sensory properties of biscuit fortified with protein hydrolysate from cephalothorax of Pacific white shrimp // Journal of Food Science and Technology. 2019. Vol. 56. P. 1145–1154. DOI: <https://doi.org/10.1007/s13197-019-03575-2>.
- Suleria R. H. A., Gobe G., Masci P., Osborne S. A. Marine bioactive compounds and health promoting perspectives; innovation pathways for drug discovery // Trends in Food Science & Technology. 2016. Vol. 50. P. 44–55. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.tifs.2016.01.019>.
- Zhang L., Liao W., Huang Y., Wen Y. [et al.]. Correction: Global seaweed farming and processing in the past 20 years // Food Production, Processing and Nutrition. 2022. Vol. 4. Article number: 28. DOI: <https://doi.org/10.1186/s43014-022-00113-0>.

References

- Balasanyan, S. Y. 2024. Fortified food strategies for improving nutritional value. *Innovation Science*, 1–1, pp. 12–21. EDN: BCWCKA. (In Russ.)
- Zaikina, M. A. 2020. Application of iodine-containing pectin extract in bread technology. *Technologies of the Food and Processing Industry of the AGRO-Industrial Complex-Healthy Food Products*, 4, pp. 8–14. EDN: IRMUAD. (In Russ.)
- Mayurnikova, L. A., Koksharov, A. A., Krapiva, T. V., Novoselov, S. V. 2020. Food fortification as a preventive factor of micronutrient deficiency. *Food Processing: Techniques and Technology*, 50(1), pp. 124–139. DOI: <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2020-1-124-139>. EDN: NPHEOS. (In Russ.)
- Naumenko, N. V., Kalinina, I. V. 2014. Analysis of prospects of development bakery goods market. *Bulletin of the South Ural State University. Series: Food and Biotechnology*, 2(4), pp. 11–16. EDN: SZHZXV. (In Russ.)
- Savkina, K. N., Novozhilova, E. A., Simutina, N. N., Shokina, Yu. V. 2024. Substantiation of technology and development of iodine-enriched kelp products. Proceedings of the VII National Scientific and Technical Conference *Innovative development of the fishing industry in the context of ensuring food security of the Russian Federation*, Vladivostok, 22 December 2023. Vladivostok, pp. 126–133. DOI: <https://doi.org/10.48612/dalrybvtuz/NNTK2023-11>. EDN: NOBLEO. (In Russ.)
- Savkina, K. N., Shokina, Yu. V. 2021. Research of the regional market of flour products in order to substantiate the development of innovative technologies for products enriched with iodine. *Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedeniy. The Arctic region*, 1, pp. 26–38. EDN: CGUSWO. (In Russ.)
- Savkina, K. N., Shokina, Yu. V. 2024a. Development of technology for the production of iodine-enriched flour products. Proceedings of the V International Scientific and Practical Conference *Innovative directions of integration of science, education and production*, Feodosia, May 19–22, 2024. Kerch, pp. 283–288. EDN: GICJYH. (In Russ.)
- Savlukova, Yu. O., Kovaleva, E. G. 2023. Production of functional yogurt enriched with iodine in a bioavailable form. *Bulletin of the South Ural State University. Series: Food and Biotechnology*, 11(2), pp. 83–92. DOI: DOI: 10.14529/food230210. EDN: HMHNLC. (In Russ.)
- Shokina, Yu. V., Savkina, K. N., Simutina, N. N., Vasilevich, V. V. 2023. Laminaria produced by the Arkhangelsk algal Combine in iodine-enriched food technologies: Development experience and commercialization prospects. *Fisheries*, 1, pp. 102–108. DOI: <https://doi.org/10.37663/0131-6184-2023-1-102-108>. EDN: JKJXRU. (In Russ.)
- Chakraborty, K., Joy, M. 2020. High-value compounds from the molluscs of marine and estuarine ecosystems as prospective functional food ingredients: An overview. *Food Research International*, 137. Article number: 109637. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2020.109637>.
- Cunha, S. A., de Castro, R., Coscueta, E. R., Pintado, M. 2021. Hydrolysate from mussel *Mytilus galloprovincialis* meat: Enzymatic hydrolysis, optimization and bioactive properties. *Molecules*, 26(17). Article number: 5228. DOI: <https://doi.org/10.3390/molecules26175228>.
- Derkach, S., Kuchina, Yu., Kolotova, D., Bordyan, V. et al. 2024. Protein hydrolysates from *Mytilus edulis* L. mussel: Physicochemical and antioxidant properties. *BIO Web of Conferences*, 130. Article number: 05006. DOI: <https://doi.org/10.1051/bioconf/202413005006>.
- Food Fortification in a Globalized World. 2018. Eds.: M. G. Venkatesh Mannar, R. Hurrell. Elsevier Inc.
- Ishak, N. H., Sarbon, N. M. 2018. A review of protein hydrolysates and bioactive peptides deriving from wastes generated by fish processing. *Food and Bioprocess Technology*, 11, pp. 2–16. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11947-017-1940-1>.

- Ivanova, G., Kolman, O., Glotova, M., Nikulina, M. et al. 2023. New types of flour confectionery products for preventive nutrition using *Laminaria saccharina*. *E3S Web of Conferences*, 390. Article number: 02021. DOI: <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202339002021>.
- Johnson, E., Suresh, A., Joseph, J. 2023. A review of the need for biofortified foods to combat malnutrition. *Asia-Pacific Journal of Pharmacotherapy and Toxicology*, 3, pp. 1–6. DOI: <https://doi.org/10.32948/apjt.2023.08.07>.
- Karimi, A., Gavighi, H. A., Sarteshnizi, R. A., Udenigwe, C. C. 2021. Effect of maize germ protein hydrolysate addition on digestion, *in vitro* antioxidant activity and quality characteristics of bread. *Journal of Cereal Science*, 97. Article number: 103148. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2020.103148>.
- Pearce, E. N., Andersson, M., Zimmermann, M. B. 2013. Global iodine nutrition: Where do we stand in 2013? *Thyroid*, 23(5), pp. 523–528. DOI: <https://doi.org/10.1089/thy.2013.0128>.
- Pereira, T., Costa, S., Barroso, S., Teixeira, P. et al. 2024. Development and optimization of high-protein and low-saturated fat bread formulations enriched with lupin and microalgae. *LWT*, 191. Article number: 115612. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2023.115612>.
- Sinthusamran, S., Benjakul, S., Kijroongrojana, K., Prodpran, T. 2019. Chemical, physical, rheological and sensory properties of biscuit fortified with protein hydrolysate from cephalothorax of Pacific white shrimp. *Journal of Food Science and Technology*, 56, pp. 1145–1154. DOI: <https://doi.org/10.1007/s13197-019-03575-2>.
- Suleria, R. H. A., Gobe, G., Masci, P., Osborne, S. A. 2016. Marine bioactive compounds and health promoting perspectives; innovation pathways for drug discovery. *Trends in Food Science & Technology*, 50, pp. 44–55. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.tifs.2016.01.019>.
- Zhang, L., Liao, W., Huang, Y., Wen, Y. et al. 2022. Correction: Global seaweed farming and processing in the past 20 years. *Food Production, Processing and Nutrition*, 4. Article number: 28. DOI: <https://doi.org/10.1186/s43014-022-00113-0>.

Сведения об авторах

Савкина Ксения Николаевна – ул. Спортивная, 13, г. Мурманск, Россия, 183010;
Мурманский арктический университет, мл. науч. сотрудник, аспирант;
e-mail: savkinakn2@mauniver.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4723-2522>

Kseniya N. Savkina – 13 Sportivnaya Str., Murmansk, Russia, 183010;
Murmansk Arctic University, Junior Researcher, PhD Student;
e-mail: savkinakn2@mauniver.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4723-2522>

Кучина Юлия Анатольевна – ул. Спортивная, 13, г. Мурманск, Россия, 183010;
Мурманский арктический университет, канд. техн. наук, ст. науч. сотрудник;
e-mail: kuchinayua@mauniver.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3419-1442>

Yuliya A. Kuchina – 13 Sportivnaya Str., Murmansk, Russia, 183010;
Murmansk Arctic University, Cand. Sci. (Engineering), Senior Researcher;
e-mail: kuchinayua@mauniver.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3419-1442>

Воропаева Светлана Олеговна – ул. Спортивная, 13, г. Мурманск, Россия, 183010;
Мурманский арктический университет, мл. науч. сотрудник;
e-mail: voropaevaso@mauniver.ru, ORCID: <https://orcid.org/0009-0008-0230-2690>

Svetlana O. Voropaeva – 13 Sportivnaya Str., Murmansk, Russia, 183010;
Murmansk Arctic University, Junior Researcher;
e-mail: voropaevaso@mauniver.ru, ORCID: <https://orcid.org/0009-0008-0230-2690>

Деркач Светлана Ростиславовна – ул. Спортивная, 13, г. Мурманск, Россия, 183010;
Мурманский арктический университет, д-р хим. наук, гл. науч. сотрудник, профессор;
e-mail: derkachsr@mauniver.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5871-9320>

Svetlana R. Derkach – 13 Sportivnaya Str., Murmansk, Russia, 183010;
Murmansk Arctic University, Dr Sci. (Chemistry), Chief Researcher, Professor;
e-mail: derkachsr@mauniver.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5871-9320>

Петрова Людмила Анатольевна – ул. Спортивная, 13, г. Мурманск, Россия, 183010;
Мурманский арктический университет, канд. техн. наук, доцент;
e-mail: petrovala@mauniver.ru

Lyudmila A. Petrova – 13 Sportivnaya Str., Murmansk, Russia, 183010;
Murmansk Arctic University, Cand. Sci. (Engineering), Associate Professor;
e-mail: petrovala@mauniver.ru