

ISSN 1560-9278
eISSN 1997-4736

Вестник МГТУ

ТРУДЫ МУРМАНСКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО
ТЕХНИЧЕСКОГО УНИВЕРСИТЕТА
ТОМ 28, № 3 (июль – сентябрь), 2025 г.

ПИЩЕВЫЕ СИСТЕМЫ

БИОТЕХНОЛОГИЯ
ПРОДУКТОВ ПИТАНИЯ
И БИОЛОГИЧЕСКИ
АКТИВНЫХ ВЕЩЕСТВ



FOOD SYSTEMS

BIOTECHNOLOGY
OF FOOD PRODUCTS
& BIOLOGICALLY
ACTIVE SUBSTANCES

Vestnik of MSTU

SCIENTIFIC JOURNAL OF MURMANSK STATE
TECHNICAL UNIVERSITY
VOLUME 28, N 3 (July – September), 2025

16+

ISSN 1560-9278
eISSN 1997-4736

Вестник МГТУ

**ТРУДЫ МУРМАНСКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО
ТЕХНИЧЕСКОГО УНИВЕРСИТЕТА
ТОМ 28, № 3 (июль – сентябрь), 2025 г.**



Vestnik of MSTU

**SCIENTIFIC JOURNAL OF MURMANSK STATE
TECHNICAL UNIVERSITY
VOLUME 28, N 3 (July – September), 2025**

**Мурманск
2025**

ВЕСТНИК МГТУ
Том 28, № 3 (июль – сентябрь), 2025 г.
Научный журнал
Издается с января 1998 г.
Выходит один раз в три месяца

Учредитель
ФГАОУ ВО "Мурманский арктический
университет"

Главный редактор
Шокина Ю. В., д-р техн. наук,
профессор (Мурманск, Россия)

Редакционная коллегия по направлению
"Пищевые системы. Биотехнология продуктов
питания и биологически активных веществ"

Члены редакционной коллегии:
Алексеев Г. В., д-р техн. наук, профессор
(Санкт-Петербург, Россия)
Бредихин С. А., д-р техн. наук, доцент
(Москва, Россия)
Гроховский В. А., д-р техн. наук, профессор
(Мурманск, Россия)
Деркач С. Р., д-р хим. наук, профессор
(Мурманск, Россия)
Донская Г. А., д-р биол. наук, доцент
(Москва, Россия)
Красуля О. Н., д-р техн. наук, профессор
(Москва, Россия)
Литвяк В. В., д-р техн. наук, доцент
(Красково, Россия)
Мезенова О. Я., д-р техн. наук, профессор
(Калининград, Россия)
Мингалева З. Ш., д-р техн. наук, доцент
(Казань, Россия)
Остроухова Е. В., д-р техн. наук, доцент
(Ялта, Россия)
Пеленко В. В., д-р техн. наук, профессор
(Санкт-Петербург, Россия)
Решетник Е. И., д-р техн. наук, профессор
(Благовещенск, Россия)
Савенкова Т. В., д-р техн. наук, профессор
(Москва, Россия)
Толсторебров И. Н., д-р наук
(Тронхейм, Норвегия)

Адрес редакции
183010, г. Мурманск, ул. Спортивная, 13.
Тел.: (8152) 40-33-56.
Тел./факс: (8152) 21-38-01, 45-27-52.
E-mail: redvst@mstu.edu.ru

VESTNIK OF MSTU
Volume 28, N 3 (July – September), 2025
Scientific journal
Published since January 1998
Issued quarterly

Founder
FSAEI HE "Murmansk Arctic University"

Editor-in-Chief
Shokina Yu. V., Dr Sci. (Engineering),
Professor (Murmansk, Russia)

The Editorial Board
(Food systems. Biotechnology of food products
& biologically active substances)

The Editorial Board Members:
Alexeev G. V., Dr Sci. (Engineering), Professor
(Saint-Petersburg, Russia)
Bredikhin S. A., Dr Sci. (Engineering),
Ass. Professor (Moscow, Russia)
Grokhovsky V. A., Dr Sci. (Engineering),
Professor (Murmansk, Russia)
Derkach S. R., Dr Sci. (Chemistry),
Professor (Murmansk, Russia)
Donskaya G. A., Dr Sci. (Biology),
Ass. Professor (Moscow, Russia)
Krasulya O. N., Dr Sci. (Engineering),
Professor (Moscow, Russia)
Litvyak V. V., Dr Sci. (Engineering),
Ass. Professor (Krasnovo, Russia)
Mezenova O. Ya., Dr Sci. (Engineering),
Professor (Kaliningrad, Russia)
Mingaleeva Z. Sh., Dr Sci. (Engineering),
Ass. Professor (Kazan, Russia)
Ostroukhova E. V., Dr Sci. (Engineering),
Ass. Professor (Yalta, Russia)
Pelenko V. V., Dr Sci. (Engineering),
Professor (Saint-Petersburg, Russia)
Reshetnik E. I., Dr Sci. (Engineering),
Professor (Blagoveshchensk, Russia)
Savenkova T. V., Dr Sci. (Engineering),
Professor (Moscow, Russia)
Tolstorebrov I. N., Dr Sci.
(Trondheim, Norway)

The Editorial Office address
Sportivnaya Str., 13,
183010, Murmansk, RUSSIA.
Phone: (8152) 40-33-56.
Phone/Fax: (8152) 21-38-01, 45-27-52.
E-mail: redvst@mstu.edu.ru

СОДЕРЖАНИЕ

Биотехнология пищевых продуктов и биологически активных веществ

Витол И. С., Мелешкина Е. П. К вопросу оценки основных кинетических параметров реакций протеолиза при получении зерновых гидролизатов.....	329
Живлянцева Ю. В., Куранова Л. К. Научное обоснование срока годности белкового рыбного гидролизата, полученного с использованием фермента протосубтилина ГЗх.....	342
Рудова Е. А., Куприна Е. Э., Боброва К. В. Влияние посола сельди на физико-химические и функциональные свойства коллагеновых гидролизатов, полученных из ее кожи.....	348
Чеченихина О. С., Лазарев В. А. Биотехнологические аспекты обогащения хлеба сывороточным белком для повышения его функциональных свойств.....	360

Технология и товароведение пищевых продуктов функционального и специализированного назначения

Алексаночкин Д. И., Семенов И. Д., Фоменко И. А. Напитки на растительной основе: обзор сырьевых компонентов и технологий получения.....	371
Дегтярев И. А., Карачун А. И., Фоменко И. А. Технология получения пищевых волокон рапса на основе твердого отхода экстракции белков.....	385
Доржиева М. В., Хамаганова И. В. Разработка рецептуры и технологии мясного пудинга из регионального нетрадиционного сырья.....	393
Иванова Н. Г., Нагуманова А. О., Сапожников А. Н. Разработка технологии хлебобулочного изделия, предназначенного для профилактики заболеваний костной системы.....	403
Молчанова Е. Н., Яблочкин Д. Е., Гегер А. Э. Перспективы использования муки из зернобобовых культур: библиометрический обзор и визуализация научных исследований.....	414
Попова Н. А. Изменение качественных характеристик культивируемых шампиньонов при хранении.....	429

Процессы и аппараты пищевых производств

Жуков А. В., Голубева О. А. Возникновение кризиса теплообмена первого рода на вертикальной парогенерирующей трубе при выпаривании солевых растворов.....	439
--	-----

CONTENTS

Biotechnology of food products and biologically active substances

Vitol I. S., Meleshkina E. P. On the issue of assessing the main kinetic parameters of enzymatic reactions in obtaining grain hydrolysates.....	329
Zhivlyantseva Yu. V., Kuranova L. K. Scientific justification of the shelf life of fish protein hydrolysate obtained using the enzyme protosubtilin G3x.....	342
Rudova E. A., Kuprina E. E., Bobrova K. V. The effect of salting herring on the physicochemical and functional properties of collagen hydrolysates obtained from its skin.....	348
Chechenikhina O. S., Lazarev V. A. Biotechnological aspects of enriching bread with whey protein to enhance its functional properties.....	360

Technology and commodity science of functional and specialized food products

Aleksanochkin D. I., Semenov I. D., Fomenko I. A. Plant-based beverages: An overview of raw materials and production technologies.....	371
Degtyarev I. A., Karachun A. I., Fomenko I. A. Technology for the production of rapeseed dietary fibers based on solid waste from protein extraction.....	385
Dorzhieva M. V., Khamaganova I. V. Development of a recipe and technology for meat pudding from regional non-traditional raw materials.....	393
Ivanova N. G., Nagumanova A. O., Sapozhnikov A. N. Development of bakery product technology intended for the prevention of bone system diseases.....	403
Molchanova E. N., Yablochkin D. E., Geger A. E. Prospects for the use of flour from grain pulses: A bibliometric review and visualization of scientific research.....	414
Popova N. A. Change in the qualitative characteristics of cultured champignons during storage.....	429

Processes and devices of food production

Zhukov A. V., Golubeva O. A. The occurrence of a heat exchange crisis of the first kind on a vertical steam-generating pipe during the evaporation of salt solutions.....	439
--	-----

УДК 664.76/577.15

К вопросу оценки основных кинетических параметров реакций протеолиза при получении зерновых гидролизатов

И. С. Витол*, Е. П. Мелешкина

**Всероссийский научно-исследовательский институт зерна и продуктов его переработки
– филиал ФНЦ пищевых систем им. В. М. Горбатова РАН, г. Москва, Россия;
e-mail: vitolis@yandex.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5362-8909>*

Информация о статье Реферат

Поступила
в редакцию
15.05.2025;

получена
после доработки
08.07.2025;

принята
к публикации
21.07.2025

Ключевые слова:

ферментативная
кинетика,
ферментные препараты,
мультиэнзимные
композиции,
зерновые отруби,
гидролизаты

Оценка основных кинетических параметров и определение оптимальных условий проведения ферментативных реакций, выбор ферментных препаратов (ФП) и мультиэнзимных композиций (МЭК) представляет актуальную задачу, решение которой направлено на оптимизацию процесса модификации разных видов зерновых отрубей. Это связано, в первую очередь, с поиском путей повышения эффективности ферментативного катализа, возможности получать зерновые гидролизаты заданного состава для их дальнейшего использования с целью создания новых сбалансированных кормовых и пищевых продуктов повышенной пищевой и биологической ценности. Приведены экспериментальные данные по основным кинетическим параметрам ферментативного гидролиза при действии на природный субстрат (разные виды отрубей) ФП трипсина, пепсина, папаина. По результатам экспериментальных и расчетно-графических работ с учетом принятых допущений определены "кажущиеся" константы Михаэлиса и $V_{\max}$, которые косвенно свидетельствуют о различном сродстве изучаемых ферментных препаратов к субстрату (отруби). Установлена ингибирующая активность ароматических аминокислот (тирозина и триптофана) по отношению к ФП папаин и пепсин: в концентрации 0,6 мг/мл ингибирование в диапазоне 90–100 % для разных видов отрубей. Исключение составляет ФП трипсин, по отношению к которому ингибирующая активность выражена слабо в обоих случаях. На примере ФП папаин установлен конкурентный характер ингибирования. Выявлена высокая эффективность МЭК (Агросил Премиум + Папаин + Агрофит) при действии на разные виды отрубей. Использование МЭК позволяет увеличить количество водорастворимого белка в среднем для пшеничных отрубей в 3,5 раза; ржаных – в 3,1; овсяных – в 2,5; кукурузных – в 2,2; гречневых отрубей – в 3 раза. Методом гель-хроматографии установлено соотношение высоко-, средне- и низкомолекулярных фракций продуктов протеолиза.

Для цитирования

Витол И. С. и др. К вопросу оценки основных кинетических параметров реакций протеолиза при получении зерновых гидролизатов. Вестник МГТУ. 2025. Т. 28, № 3. С. 329–341. DOI: <https://doi.org/10.21443/1560-9278-2025-28-3-329-341>.

On the issue of assessing the main kinetic parameters of enzymatic reactions in obtaining grain hydrolysates

Irina S. Vitol*, Elena P. Meleshkina

**All-Russian Scientific and Research Institute for Grain and Products of its Processing –
Branch of V. M. Gorbakov Federal Research Center for Food Systems of RAS, Moscow, Russia;
e-mail: vitolis@yandex.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5362-8909>*

Article info

Received
15.05.2025;

received
in revised form
08.07.2025;

accepted
21.07.2025

Key words:

enzymatic kinetics,
enzyme preparations,
multienzyme
compositions,
grain bran,
hydrolysates

Abstract

Evaluation of the main kinetic parameters and determination of optimal conditions for carrying out enzymatic reactions, selection of enzyme preparations (EP) and multienzyme compositions (MEC) is a topical problem, the solution of which is aimed at optimizing the modification process of different types of grain bran. This is primarily due to the search for ways to improve the efficiency of enzymatic catalysis, the possibility of obtaining grain hydrolysates of a given composition for their further use in order to create new balanced feed and food products of increased nutritional and biological value. Experimental data on the main kinetic parameters of enzymatic hydrolysis under the action of EP trypsin, pepsin, papain on a natural substrate (different types of bran) have been presented. Based on the results of experimental and computational-graphical works, taking into account the accepted assumptions, the "apparent" Michaelis constants and $V_{\max}$ have been determined, which indirectly indicate different affinities of the studied enzyme preparations to the substrate (bran). The inhibitory activity of aromatic amino acids (tyrosine and tryptophan) in relation to the EP papain and pepsin has been established: at a concentration of 0.6 mg/ml, inhibition is in the range of 90–100 % for different types of bran. The exception is the EP trypsin, in relation to which the inhibitory activity is weakly expressed in both cases. Using the EP papain as an example, the competitive nature of inhibition has been established. High efficiency of MEC (Agrosil Premium + Papain + Agrofit) in action on different types of bran has been revealed. The use of MEC allows to increase the amount of water-soluble protein on average for wheat bran by 3.5 times; rye bran – by 3.1; oat bran – by 2.5; corn bran – by 2.2; buckwheat bran – by 3 times. The gel chromatography method has established the ratio of high-, medium- and low-molecular fractions of proteolysis products.

For citation

Vitol, I. S. et al. 2025. On the issue of assessing the main kinetic parameters of enzymatic reactions in obtaining grain hydrolysates. *Vestnik of MSTU*, 28(3), pp. 329–341. (In Russ.) DOI: <https://doi.org/10.21443/1560-9278-2025-28-3-329-341>.

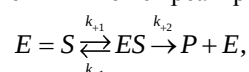
Введение

Гидролизаты растительного сырья, в том числе и зернового, получаемые с использованием ферментных препаратов (ФП) разной специфичности, широко изучаются с целью их применения при производстве новых обогащенных видов кормов и пищевых продуктов (Серба и др., 2022; Болтовский, 2021). Как показывает анализ научных публикаций, акцент делается на вторичные продукты переработки сырья, содержащих ценные ингредиенты, необходимые для создания сбалансированных продуктов, таких как белки, нерастворимые и растворимые пищевые волокна, витамины, макро- и микроэлементы, минорные биологически активные соединения (Витол и др., 2025а). Это связано с тем, что ферментативный гидролиз имеет ряд преимуществ (Свириденко и др., 2017а), позволяющих получать гидролизаты заданного состава с определенными молекулярно-массовыми характеристиками и функционально-технологическими свойствами. В некоторых случаях в них обнаружены биологически активные пептиды, что свидетельствует о возможности их использования в качестве функциональных компонентов, обладающих значительным фармакологическим потенциалом (Колпакова и др., 2024; Куликов и др., 2025а, б).

Однако использование ферментативных гидролизатов может быть существенно ограничено из-за появления горького вкуса при использовании некоторых ФП микробного происхождения, которое связывают с образованием так называемых "горьких пептидов" с определенной молекулярной массой (Мм), длиной пептида, наличием и количеством в них остатков пролина и гидрофобных аминокислот (Семенова и др., 2023). С целью снижения или полного устранения горечи возможно применение различных мер: проведение ограниченного протеолиза с участием пролин-специфичных экзо- и эндопептидаз (Балабан и др., 2011; FitzGerald et al., 2006); поиск ферментных препаратов, использование которых не приводит к появлению горького вкуса или его проявление столь незначительно, что маскируются другими компонентами и не оказывают отрицательного воздействия на органолептические показатели готовых изделий (Свириденко и др., 2017б; Liu et al., 2022); использование ультрафильтрации гидролизатов для удаления пептидов определенной Мм, обуславливающих горький вкус (Свириденко и др., 2017б); создание комплексов, например, с β -циклодекстринами (Головач и др., 2024) и/или хитозаном (Курченко и др., 2023), нивелирующих горечь; применение физических (ультразвуковое воздействие) или биохимических (специфическое ингибирование протеиназ) методов с целью предотвращения появления нежелательных вкусов и запахов при воздействии высоких температур (Свириденко и др., 2017б; Семенова и др., 2023).

Известно, что ферментативный катализ существенно отличается от неферментативного. В связи с этим ферментативная кинетика выделена в самостоятельный раздел и ее изучение наряду с важным теоретическим значением имеет и практические аспекты, поскольку только на основе изучения кинетики действия того или иного фермента можно подобрать оптимальные условия для его работы и регулировать ферментативный процесс в заданном направлении (Seibert et al., 2021).

Основные положения ферментативной кинетики разработаны В. Анри (1902 г.), Л. Михаэлисом и М. Ментон (1913 г.), а также их последователями (Кретович, 1986; Rogers и др., 2009). Ученые постулировали 2-стадийное протекание ферментативной реакции – фермент (Е) взаимодействует с субстратом (S) с образованием фермент-субстратного комплекса (ES), который может распадаться в двух направлениях. Прямая реакция приводит к образованию продуктов реакции (P); фермент, как и любой катализатор, в процессе реакции не претерпевает изменений и может реагировать с новой молекулой субстрата



где k_{+1} – константа скорости реакции образования фермент-субстратного комплекса ES; k_{-1} , k_{+2} – константы скорости реакции распада комплекса ES в двух направлениях.

K_s – константа диссоциации комплекса ES – равна отношению констант скоростей обратной и прямой реакции

$$K_s = \frac{k_{-1}}{k_{+1}}.$$

Фермент во время ферментативной реакции находится как в свободной, так и связанной форме. При концентрации субстрата, когда весь фермент находится в комплексе ES, скорость реакции будет максимальной ($V_{\max}$). Уравнение Михаэлиса – Ментен выражает зависимость действия ферментов от концентрации субстрата

$$V_0 = \frac{V_{\max} \times [S]}{K_s + [S]}.$$

При его выводе не учитывалась вторая стадия ферментативной реакции – образование Е и Р.

Учет влияния образовавшихся продуктов реакции отражен в уравнении Холдейна – Бриггса

$$V_0 = \frac{V_{\max} \times [S]}{K_m + [S]}.$$

В этом уравнении вместо K_S используется K_m – константа Михаэлиса, которая отражает распад комплекса ES в двух направлениях

$$K_m = \frac{k_{-1} + k_{+2}}{k_{+1}}.$$

Поскольку $K_S = \frac{k_{-1}}{k_{+1}}$, то $K_m = K_S + \frac{k_{+2}}{k_{+1}}$, т. е. K_m всегда больше K_S .

Уравнение Холдейна – Бриггса было преобразовано Лайнуивером и Берком по методу двойных обратных величин

$$\frac{1}{V_0} = \frac{K_m}{V_{\max}} \times \frac{1}{[S]} + \frac{1}{V_{\max}} \text{ (уравнение Лайнуивера–Берка)}.$$

Значение K_m можно получить графическим способом (рис. 1, а); более точное определение величины K_m возможно при обработке данных по методу двойных обратных величин (прямолинейная зависимость) (рис. 1, б).

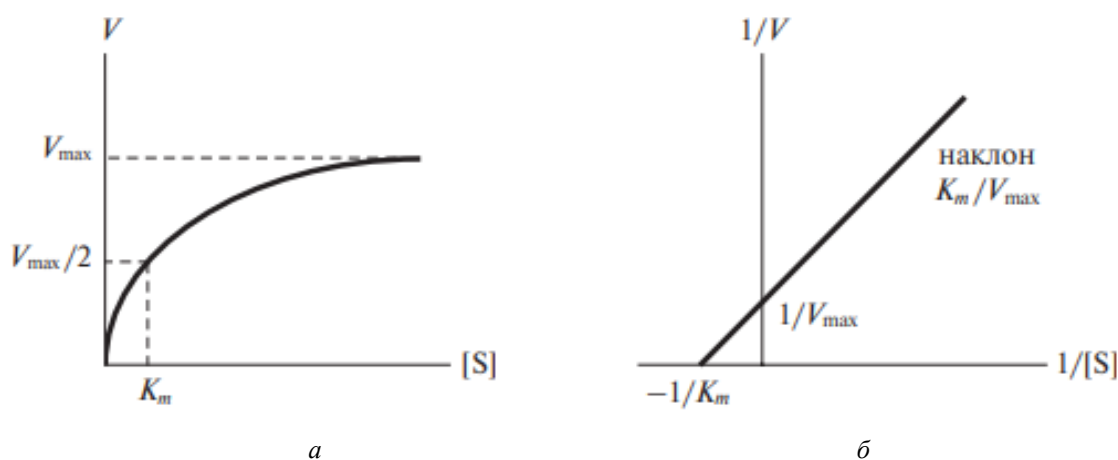


Рис. 1. Влияние концентрации субстрата на начальную скорость ферментативной реакции
(а – по методу Михаэлиса – Ментен, б – по методу Лайнуивера – Берка)

Fig. 1. Effect of substrate concentration on the initial rate of enzymatic reaction
(а – according to the Michaelis – Menten method, б – according to the Lineweaver – Burk method)

Величина K_m , численно равная концентрации субстрата (в молях на литр), при которой скорость реакции равна половине максимальной, является ключевым кинетическим параметром, характеризующим сродство фермента к субстрату.

Вопросы кинетики при проведении ферментативной модификации растительного сырья – сложного многокомпонентного (гетерогенного) субстрата с использованием ФП разной специфичности действия и их композиций – в настоящее время заслуживают особого внимания.

Актуальность исследований по оптимизации ферментативной модификации разных видов зерновых отрубей (выбор ФП, изучение кинетики и определение оптимальных условий проведения ферментативных реакций) связана, в первую очередь, с поиском путей повышения эффективности ферментативного катализа, возможности получать зерновые гидролизаты заданного состава для их дальнейшего использования с целью создания новых кормовых и пищевых продуктов сбалансированного состава, повышенной пищевой и биологической ценности.

Цель исследования – на основании изучения кинетики ферментативных реакций гидролиза белков с использованием ферментных препаратов (ФП) трипсин, пепсин и папаин научно обосновать и оптимизировать проведение ферментативной модификации разных видов отрубей для получения гидролизатов разного состава и свойств.

Материалы и методы

В качестве объектов исследования использовали товарные партии пшеничных, ржаных, овсяных, кукурузных и гречневых отрубей отечественного производства. Химический состав (табл. 1), особенности белково-протеиназного и углеводно-амилазного комплексов исходных отрубей представлены в работе (Витол и др., 2025б)

Таблица 1. Химический состав исходных отрубей (*Витол и др., 2025б*)
 Table 1. Chemical composition of the original bran (*Vitol et al., 2025b*)

Отруби	Влажность, %	Белок, %	Жир, %	Крахмал, %	Клетчатка, %
Пшеничные	12,5	13,8	3,5	26,1	24,8
Ржаные	11,0	11,8	3,2	20,3	28,2
Овсяные	11,7	12,6	6,8	22,4	23,6
Кукурузные	11,8	9,4	1,1	28,8	16,8
Гречневые	4,3	18,0	4,2	18,5	21,0

Общее содержание белка определяли по методу Кьельдаля ($N \times 6,25$) (ГОСТ 10846-91¹); жира – по методу Сокслета (ГОСТ 29033-91²); клетчатки – по ГОСТ 31675-2012³; крахмала – по методу Эверса (ГОСТ 10845-98⁴).

В качестве ФП использовали ФП протеолитического действия – Трипсин, CAS 9002-07-7, 250 N.F.U/мг; Пепсин 1:3000, CAS 9001-75-6; Папаин CAS 9001-73-4, 200 000 ME/г (Servicebio, Китай), а также ФП целлюлолитического действия – Агросил Премиум и фитазного действия – Агрофит (ОАО Агрофермент, Россия), характеристика которых представлена в работе (*Krikunova et al., 2023*). Выбор ферментных препаратов обусловлен различной субстратной специфичностью и эффективностью ферментативного гидролиза, а также их доступностью на российском рынке. Активность протеаз определяли по модифицированному методу Ансона и выражали в ед. ПС/г отрубей или в процентах к исходной активности⁵.

В качестве субстрата использовали водный экстракт из отрубей (отруби подвергались дополнительному размолу с выделением фракции отрубей 335 мкм), гидромодуль 1 : 10 (вес/объем) при комнатной температуре при интенсивном перемешивании (3000 об/мин) в течение 3 мин. Для выявления оптимумов pH и температуры активность ФП протеиназ изучали в диапазоне pH от 1,5 до 10,0 (с использованием фосфатно-цитратного буфера) и температуры от 30 до 70°.

Ферментативную реакцию проводили при оптимальных значениях pH и температуры для каждого вида отрубей в течение 2 ч с отбором проб каждые 10 мин в течение первого часа и через 20 мин в течение второго часа; полученные данные использовали для расчета начальной скорости V_0 ферментативных реакций, построения зависимостей V_0 от [E] и [S], дальнейшего определения константы Михаэлиса (K_m) согласно уравнению Михаэлиса – Ментон и его математического преобразования (линеаризация) по методу Лайнуивера – Берка (*Кретович, 1986; Seibert et al., 2021; Rogers et al., 2009*).

Эффективность действия ФП целлюлолитического действия оценивали по накоплению редуцирующих веществ (по методу Бертрана), ФП протеиназ – по накоплению водорастворимого белка (по методу Лоури), ФП фитазы – по накоплению фосфат-ионов, содержание которых определяли колориметрическим методом при длине волны 670 нм на спектрофотометре СФ-2000 (ООО "ОКБ Спектр", Россия) с использованием градуировочной кривой (ГОСТ 31487-2012⁶).

Молекулярную массу продуктов протеолиза определяли методом гель-хроматографии⁷ (*Остерман, 1985*) на колонке с TSK gel Toyopearl HW-55F (Tosoh, Япония).

Для обработки результатов исследований определяли средние арифметические значения величин из трех измерений для каждого образца, среднеквадратичное отклонение не превышало 3 % при доверительной вероятности $P = 0,95$. С этой целью использовали методы математической статистики с применением программного обеспечения Microsoft Excel, версия 2018 г.⁸

¹ ГОСТ 10846-91. Зерно и продукты его переработки. Метод определения белка. URL: <https://internet-law.ru/gosts/gost/28268/?ysclid=mf56d805j689976460>.

² ГОСТ 29033-91. Зерно и продукты его переработки. Метод определения жира. URL: <https://internet-law.ru/gosts/gost/10417/?ysclid=mf56eh43of390077903>.

³ ГОСТ 31675-2012. Корма. Методы определения содержания сырой клетчатки с применением промежуточной фильтрации. URL: <https://internet-law.ru/gosts/gost/52702/?ysclid=mf56h4btsr629994265>.

⁴ ГОСТ 10845-98. Зерно и продукты его переработки. Метод определения крахмала. URL: <https://files.stroyinf.ru/Data2/1/4294840/4294840032.pdf?ysclid=mf56bl9oah944200638>.

⁵ Нечаев А. П., Траубенберг С. Е., Кочеткова А. А., Колпакова В. В. [и др.]. Пищевая химия. Лабораторный практикум. СПб. : ГИОРД, 2006. 304 с.

⁶ ГОСТ 31487-2012. Препараты ферментные. Методы определения ферментативной активности фитазы. URL: <https://internet-law.ru/gosts/gost/52292/?ysclid=mf56foyv881541237>.

⁷ Там же.

⁸ Гребенникова И. В. Методы математической обработки экспериментальных данных. Екатеринбург : Изд-во Уральского ун-та, 2015. 123 с.

Результаты и обсуждение

Основные кинетические параметры ферментативных реакций гидролиза белков разных видов отрубей с использованием ФП трипсин, пепсин и папаин

Изучение кинетики ферментативных реакций – определение основных кинетических параметров: V_0 , оптимумы T° и pH, $V_{\max}$; K_s и K_m ; $[S]$ и $[E]$ – необходимо для выявления сродства фермента к субстрату, оптимизации условий проведения ферментативного катализа и сравнении эффективности различных ферментов при действии на один и тот же субстрат.

Начальную скорость ферментативной реакции V_0 определяли графическим методом и рассчитывали, как тангенс угла наклона касательной к кривой хода ферментативной реакции во времени (Кретович, 1986). Получены следующие величины V_0 : при действии ФП трипсин на пшеничные и гречневые – 2,0; на овсяные и кукурузные – 1,9; на ржанные – 2,5; при действии ФП пепсин на пшеничные отруби – 0,75; на ржанные и кукурузные – 0,9; на овсяные – 1,0 и на гречневые 1,2; при действии ФП папаин на пшеничные и овсяные отруби – 1,5; на ржанные и гречневые – 1,75; на кукурузные – 1,3. На практике за V_0 принимали время (мин), соответствующее прямолинейному отрезку кривой ферментативной реакции (реакция 0-порядка). Во всех вариантах реакция идет по 0-порядку (когда наблюдается прямая пропорциональная зависимость между продуктами реакции и временем действия фермента) в течение первых 15 мин.

Температурные оптимумы для всех вариантов находятся в диапазоне 40–50°, для некоторых он выражен более определенно: 40° при действии трипсина на гречневые отруби и 50° при действии на овсяные отруби.

Оптимумы pH для трипсина при действии на разные виды отрубей составляют 8,0–9,0; пепсина – 1,5–2,0; папаина – 5,0–5,5, для гречневых отрубей – 5,5–6,0 и практически не отличаются от оптимумов pH при действии на стандартный субстрат (бычий сывороточный альбумин).

Учитывая, что водные экстракты из разных видов отрубей представляют собой многокомпонентный (гетерогенный) субстрат, а используемые ФП не являются высокоочищенными и содержат минорные активности и балластные вещества необходимо принять ряд допущений и в дальнейшем оперировать такими понятиями, как "кажущиеся" $K_m - K_{m(\text{каж})}$ и $V_{\max} - V_{\max(\text{каж})}$.

В качестве примера на рис. 2 представлены зависимость активности исследуемых ферментов от температуры и pH при действии на гречневые отруби.

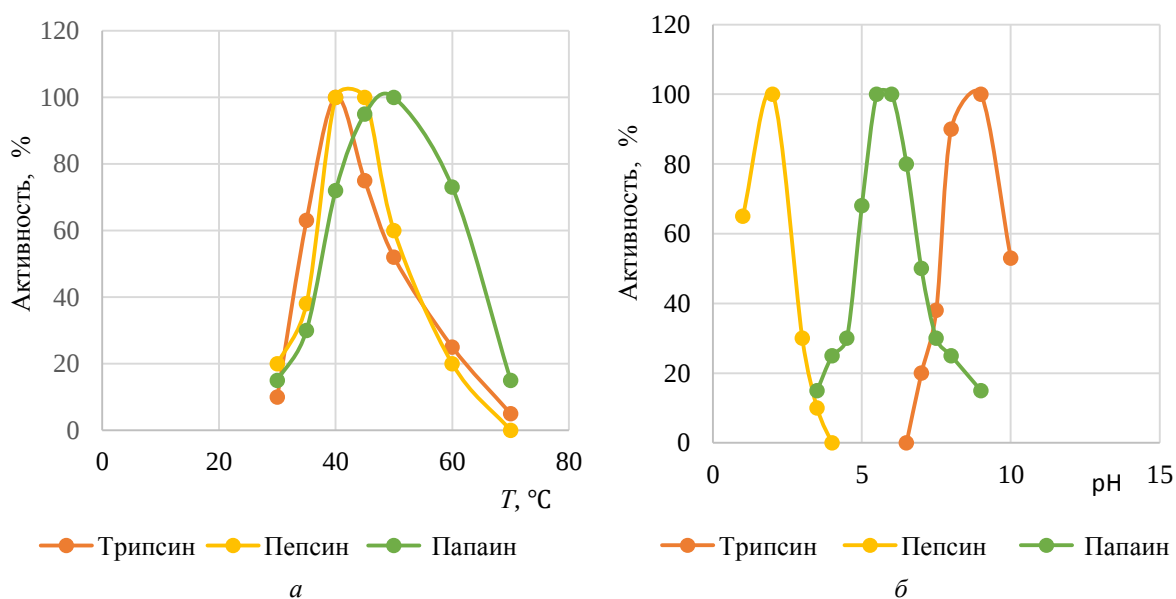


Рис. 2. Влияние температуры (а) и pH (б) на активность исследуемых ферментов

Fig. 2. Effect of temperature (a) and pH (b) on the activity of the studied enzymes

Сравнение эффективности действия ФП на одинаковый субстрат с применением уравнения Михаэлиса – Ментен и его линейного преобразования по Лайнуиверу – Берку с учетом принятых допущений

Для построения субстратных кривых и определения $K_{m(\text{каж})}$ в качестве субстрата использовали водные экстракты из отрубей с гидромодулем 1 : 4 (вес/объем) и его дальнейшим разведением в 2, 3, 4, 5 и 10 раз. Определяли количество водорастворимого белка (в мг/на мл) по методу Лоури. Это еще одно допущение, поскольку выразить концентрацию субстрата в м/л для определения K_m не представляется возможным ввиду его гетерогенности.

На основании проведения кинетических исследований были установлены оптимальные условия действия ФП: концентрации ФП – трипсин 0,8 ед. ПС/г отрубей; пепсин – 1,0 ед. ПС /г отрубей; папаин – 0,8 ед. ПС/г отрубей; насыщающая концентрация субстрата для всех ФП – 0,150 мг/мл. На рис. 3 представлены субстратные кривые для исследуемых ферментных препаратов, где в качестве субстрата использовали водный экстракт из гречневых отрубей.

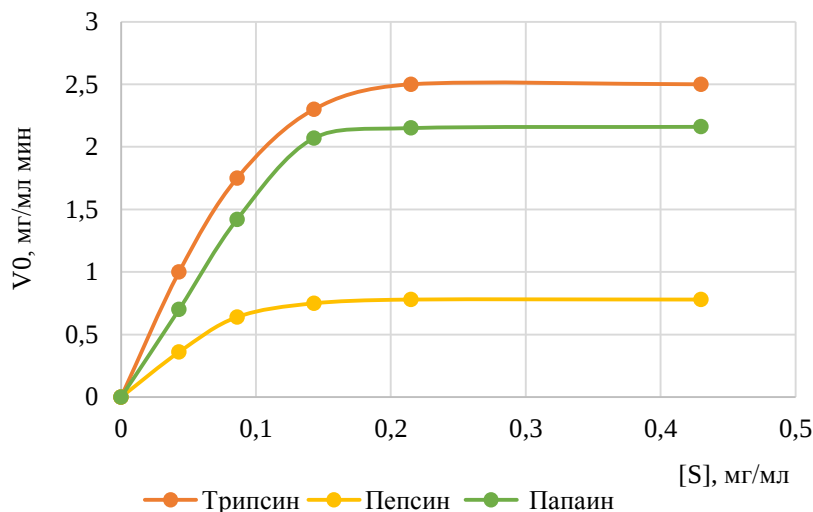


Рис. 3. Влияние концентрации субстрата (экстракт из гречневых отрубей) на активность исследуемых ФП
Fig. 3. Effect of substrate concentration (buckwheat bran extract) on the activity of the studied EPs

Из графика следует, что при гидролизе белков гречневых отрубей трипсином $V_{\max(\text{каж})} = 2,50$ и $K_{m(\text{каж})} = 0,086$; пепсином: $V_{\max(\text{каж})} = 0,78$ и $K_{m(\text{каж})} = 0,040$; папаином: $V_{\max(\text{каж})} = 2,15$ (мг/мл мин) и $K_{m(\text{каж})} = 0,075$ (мг/мл).

Обработка полученных данных по методу двойных обратных величин Лайнуивера – Берка дала следующие результаты (табл. 2).

Таблица 2. Значения $V_{\max(\text{каж})}$ и $K_{m(\text{каж})}$ для ферментативных реакций гидролиза белков гречневых отрубей исследуемыми ФП, полученные графически-расчетным методом
Table 2. Values of $V_{\max(\text{app})}$ and $K_{m(\text{app})}$ for enzymatic reactions of hydrolysis of proteins of buckwheat bran by the studied FPs obtained by the graphical-calculation method

Ферментные препараты	По методу Михаэлис – Ментон		По методу Лайнуивера – Берка	
	$V_{\max(\text{каж})}$, мг/мл мин	$K_{m(\text{каж})}$, мг/мл	$V_{\max(\text{каж})}$, мг/мл мин	$K_{m(\text{каж})}$, мг/мл
Трипсин	2,50	0,086	2,60	0,083
Пепсин	0,78	0,040	0,83	0,050
Папаин	2,15	0,075	2,00	0,077

Таким образом, несмотря на принятые допущения, полученные значения "кажущихся" констант Михаэлиса и $V_{\max}$ (табл. 3) могут косвенно свидетельствовать о различном родстве изучаемых ферментных препаратов к субстрату (разные виды отрубей).

Влияние ароматических аминокислот на активность ФП трипсина, пепсина, папаина

В научных публикациях имеются данные об ингибировании протеолитических ферментов ароматическими аминокислотами (Мосолов, 1971). Для изучения влияния ароматических аминокислот (тирозина и триптофана) в инкубационную смесь вносили аминокислоты до конечной концентрации от 0,1 до 0,8 мг/мл. Предынкубацию ФП, соответствующего буфера и аминокислот проводили в течение 20 мин, затем вносили субстрат.

Из представленных данных (рис. 4, табл. 3) следует, что ингибирующая активность триптофана по отношению к исследуемым ФП (пепсин и папаин) значительно превышает ингибирующую активность тирозина во всех вариантах; исключение составляет ФП трипсин, по отношению к которому ингибирующая активность выражена слабо в обоих случаях.

Известно, что папаин и пепсин гидролизуют пептидные связи, образованные ароматическими аминокислотами: папаин преимущественно – пептидную связь, образованную СООН-группой фенилаланина и тирозина, а пепсин – пептидную связь, образованную NH₂-группой фенилаланина и тирозина.

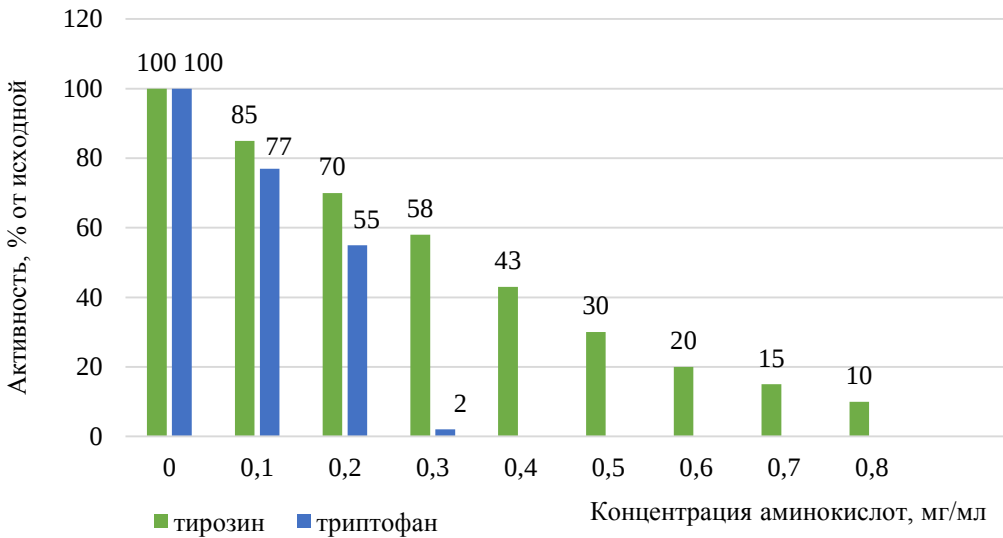


Рис. 4. Влияние ароматических аминокислот на ФП папаин при гидролизе белков водного экстракта из гречневых отрубей
Fig. 4. Effect of aromatic amino acids on the EP papain during hydrolysis of proteins of aqueous extract from buckwheat bran

Таблица 3. Сводная таблица по влиянию ароматических аминокислот на активность исследуемых ФП при гидролизе разных видов отрубей
Table 3. Summary table of the effect of aromatic amino acids on the activity of the studied EP during hydrolysis of different types of bran

Отруби	Ингибирование ароматическими аминокислотами, %			
	тирозин, мг/мл		триптофан, мг/мл	
	0,3	0,6	0,3	0,6
	трипсин			
Пшеничные	12	15	15	20
Ржаные	10	13	10	15
Овсяные	5	10	10	10
Кукурузные	5	8	8	8
Гречневые	10	15	10	20
	пепсин			
Пшеничные	20	75	25	90
Ржаные	22	80	32	100
Овсяные	25	70	30	90
Кукурузные	25	70	27	95
Гречневые	40	80	80	100
	папаин			
Пшеничные	32	75	55	95
Ржаные	37	80	60	100
Овсяные	35	80	50	95
Кукурузные	30	70	52	98
Гречневые	42	80	98	100

При выяснении характера ингибирования было установлено, что ферментативная реакция (на примере гидролиза водорастворимых белков гречневых отрубей ФП папаин) имеет одинаковую максимальную

скорость в отсутствии ингибиторов и при двух различных концентрациях триптофана 0,1 и 0,2 мг/мл. При обработке полученных данных по методу двойных обратных величин Лайнуивера – Берка отрезок, отсекаемый от оси $1/V$, остается постоянным. Это свидетельствует о конкурентном характере ингибирования (Мосолов, 1971) и позволяет предположить, что расщепление белка происходит по связям, образованным с участием триптофана.

Полученные данные позволяют использовать ароматические аминокислоты в качестве ингибиторов ФП папаин и пепсин для остановки ферментативной реакции протеолиза. Это дает возможность исключить стадию теплового воздействия и, таким образом, избежать появления нежелательных вкусов и запахов при получении гидролизатов (Свириденко и др., 20176; Семенова и др., 2023).

Фракционирование продуктов протеолиза методом гель-хроматографии

Методом гель-хроматографии было установлено соотношение высоко-, средне- и низкомолекулярных фракций продуктов протеолиза: гидролизат 1 получен с использованием ФП трипсин; гидролизат 2 – с использованием ФП пепсин и гидролизат 3 – с использованием ФП папаин. Каждый вид гидролизата имеет свои особенности, которые зависят как от природы субстрата (вида отрубей), так и от специфичности действия ФП протеиназ. В табл. 4 в качестве примера приведено соотношение фракций с различной молекулярной массой, полученное при фракционировании продуктов протеолиза белков водных экстрактов из гречневых отрубей исследуемыми ферментными препаратами. В качестве контроля использовали водный экстракт из гречневых отрубей (гидромуль 1 : 10) без проведения реакций ферментативного гидролиза.

Таблица 4. Фракционирование продуктов протеолиза белков водных экстрактов из гречневых отрубей методом гель-хроматографии

Table 4. Fractionation of proteolysis products of proteins of aqueous extracts from buckwheat bran by gel chromatography

Фракция	Молекулярная масса, кДа	% от общего количества			
		Контроль	Гидролизат 1	Гидролизат 2	Гидролизат 3
6–13	≥ 700	32,80	16,70	23,08	21,20
14–15	$450 \div 350$	20,24	10,76	15,47	13,15
16–19	$300 \div 100$	10,30	8,40	10,22	13,10
20–22	$100 \div 50$	5,8	0	6,28	10,79
23–26	$50 \div 25$	13,70	15,00	13,60	11,38
27–30	$25 \div 1,5$	6,00	18,88	10,25	7,14
31–36	$\leq 1,0$	11,16	30,26	21,10	23,24

Эффективность разработанной мультэнзимной композиции (МЭК) при ферментативной модификации разных видов отрубей

Для интенсификации процесса ферментативной модификации разных видов отрубей была разработана МЭК, в состав которой наряду с ФП папаин были включены ФП целлюлолитического (Агросил Премиум) и фитолитического (Агрофит) действия. Использование ФП целлюлолитического и фитазного действия позволяет высвободить белки из связанного состояния (комплексы белков и некрахмальных полисахаридов; белков и фитина), что повышает доступность субстрата для действия протеолитических ферментов и обеспечивает интенсификацию процесса протеолиза за счет синергетического эффекта ФП разной специфичности (Krikunova и др., 2023; Витол и др., 2023).

Основными критериями при создании МЭК являлись:

- эффективность действия отдельных ФП на зерновой субстрат (Krikunova и др., 2023);
- близкие по значениям оптимумы температуры и pH (Витол и др., 2023);
- наименьшая степень горечи при использовании ФП папаин (Meinlschmidt et al., 2015; Витол и др., 20256);
- возможность коррекции горького вкуса за счет инактивации ФП папаин и остановки ферментативной реакции гидролиза белков ароматическими аминокислотами (исключая стадию кратковременного температурного воздействия, вызывающую негативные изменения органолептических свойств (вкус и запах) гидролизатов (Семенова и др., 2023).

На рис. 5 представлена диаграмма эффективности исследуемых ФП, входящих в состав МЭК, при действии на разные виды отрубей. ФП Агросил Премиум наиболее активно гидролизует некрахмальные полисахариды пшеничных и гречневых отрубей; ФП Агрофит наибольшую активность проявляет по отношению к ржаным отрубям, наименьшую – к гречневым, что, вероятно, связано с различным содержанием в них фитина. ФП папаин активно гидролизует белки во всех исследуемых вариантах, его

эффективность по отношению к различным субстратам (разные виды отрубей) снижается в ряду: пшеничные – ржаные – гречневые – овсяные – кукурузные отруби.

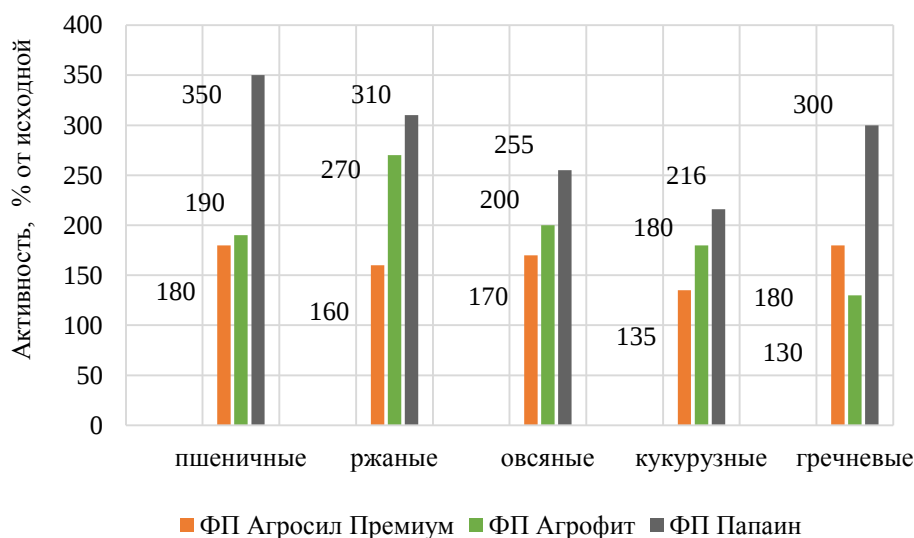


Рис. 5. Диаграмма эффективности ФП при действии разных видов отрубей
Fig. 5. Diagram of the EP effectiveness when different types of bran are used

Ферментативную модификацию отрубей с использованием МЭК осуществляли следующим образом: инкубационная смесь состояла из 10 г размолотых зерновых отрубей, 100 мл дистиллированной воды (20 % от объема фосфатно-цитратного буфера с pH 5,0). Предынкубация фермента и субстрата происходила при заданной температуре (40 °C) в течение 10 мин. Ферментативную модификацию проводили в 2 этапа, продолжительность каждого этапа 2 ч: на 1-м этапе вносили ФП Агросил Премиум + Агрофит, на 2-м этапе – ФП папаин в дозировках, обеспечивающих оптимальное значение в инкубационной смеси. Надосадочную жидкость отделяли центрифугированием при 6000 об/мин и полученный гидролизат использовали для дальнейших исследований.

На рис. 6 представлена эффективность МЭК по сравнению с действием ФП папаин при ферментативной модификации разных видов отрубей.

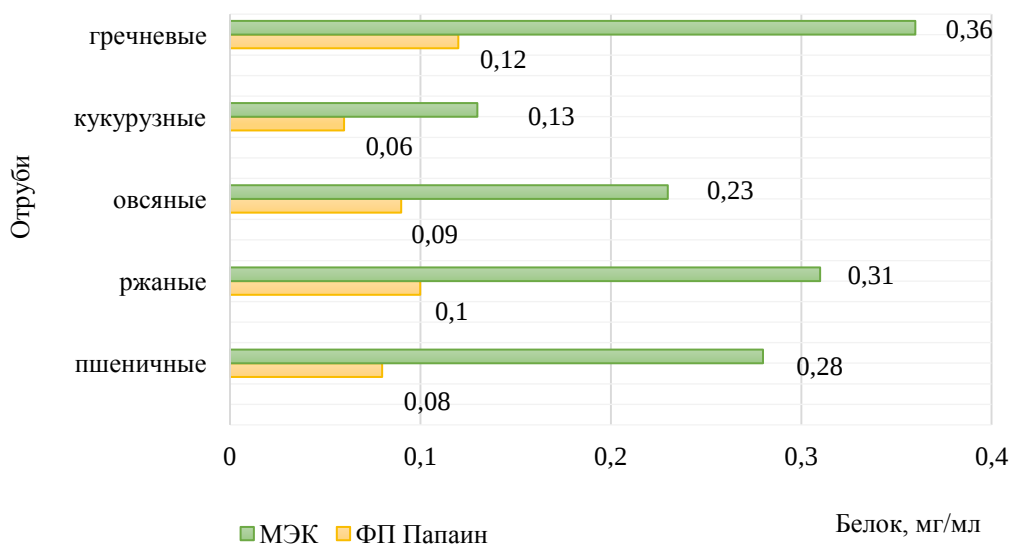


Рис. 6. Эффективность МЭК при ферментативной модификации разных видов отрубей
Fig. 6. Efficiency of MEC in enzymatic modification of different types of bran

Использование МЭК позволяет увеличить количество водорастворимого белка в среднем для пшеничных отрубей в 3,5 раза; ржаных отрубей в 3,1 раза; овсяных отрубей в 2,5 раза; кукурузных отрубей в 2,2 раза; гречневых отрубей в 3 раза. Полученные данные подтверждают синергетический эффект ФП целлюлолитического, протеолитического и фитазного действий и позволяют рекомендовать разработанную МЭК для получения ферментативных гидролизатов из разных видов отрубей (*Krikunova и др., 2023; Витол и др., 2023*).

Заключение

Изучены основные кинетические параметры ферментативных реакций гидролиза водорастворимых белков разных видов отрубей с использованием ФП протеиназ животного (трипсин, пепсин) и растительного (папаин) происхождения: установлены оптимальные значения температуры и pH; начальная скорость ферментативной реакции V_0 . По результатам экспериментальных и расчетно-графических работ определены насыщающая концентрация субстрата, оптимальное количество ФП, "кажущиеся" константы Михаэлиса и V_{max} , которые косвенно свидетельствуют о различном сродстве изучаемых ферментных препаратов к субстрату (отруби). Показано, что эффективность исследуемых ФП при действии на водные экстракты из разных видов отрубей снижается в ряду: трипсин – папаин – пепсин.

Выявлена ингибирующая активность ароматических аминокислот (тирозина и триптофана) по отношению к ФП папаин и пепсин: в концентрации 0,6 мг/мл ингибирование в диапазоне 90–100 % для разных видов отрубей. Исключение составляет ФП трипсин, по отношению к которому ингибирующая активность выражена слабо в обоих случаях. На примере ФП папаин установлен конкурентный характер ингибирования.

Методом гель-хроматографии установлено соотношение высоко-, средне- и низкомолекулярных фракций продуктов протеолиза в гидролизатах, полученных с использованием ФП трипсин, папаин и пепсин. Показано, что их использование позволяет получать гидролизаты с различными молекулярно-массовыми характеристиками.

Выявлена высокая эффективность МЭК (Агросил Премиум + Папаин + Агрофит) при действии на разные виды отрубей. Использование МЭК позволяет увеличить количество водорастворимого белка в среднем для пшеничных отрубей в 3,5 раза; ржаных отрубей в 3,1 раза; овсяных отрубей в 2,5 раза; кукурузных отрубей в 2,2 раза; гречневых отрубей в 3 раза по сравнению с действием ФП папаин.

Результаты исследования будут использованы в дальнейшей экспериментальной работе – ферментативной модификации смесей из разных видов отрубей, при разработке способов ферментативной модификации зерновых отрубей и получения гидролизатов с разными молекулярно-массовыми характеристиками и функционально-технологическими свойствами с целью их применения для создания сбалансированных кормов и пищевых продуктов, а также в качестве обогащающего компонента при производстве разных видов пищевой продукции, в том числе и специализированного назначения.

Благодарности

Статья подготовлена в рамках выполнения исследований по государственному заданию № FGUS-2025-0002 Федерального научного центра пищевых систем им. В. М. Горбатова Российской академии наук.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Библиографический список

- Балабан Н. П., Шарипова М. Р. Практическое применение бациллярных протеаз // Ученые записки Казанского университета. Сер. Естественные науки. 2011. Т. 153, № 2. С. 29–40. EDN: OCRYED.
- Болтовский В. С. Ферментативный гидролиз растительного сырья: состояние и перспективы // Известия Национальной академии наук Беларуси. Серия химических наук. 2021. Т. 57, № 4. С. 502–512. DOI: <https://doi.org/10.29235/1561-8331-2021-57-4-502-512>. EDN: QBZIZV.
- Витол И. С., Коломиец С. Н., Герасина А. Ю. Смесей отрубей разных видов как объекты для ферментативной модификации // Пищевая промышленность. 2025б. № 8. С. 16–18. DOI: <https://doi.org/10.52653/ppi.2025.8.8.004>. EDN: HBRDNW.
- Витол И. С., Мелешкина Е. П. Ферментативная модификация вторичных продуктов переработки зерна // Пищевая промышленность. 2025в. № 5. С. 140–143. DOI: <https://doi.org/10.52653/ppi.2025.5.5.026>. EDN: YACUOA.
- Витол И. С., Мелешкина Е. П. Ферментативные гидролизаты зерна и продуктов его переработки. Обзор предметного поля // Пищевые системы. 2025а. Т. 8, № 1. С. 144–152. DOI: <https://doi.org/10.21323/2618-9771-2025-8-1-144-152>. EDN: QPFADA.

- Витол И. С., Мелешкина Е. П., Крикунова Л. Н. Композиции ферментных препаратов для направленной модификации отрубей // *Пищевые системы*. 2023. Т. 6, № 4. С. 457–462. DOI: <https://doi.org/10.21323/2618-9771-2023-6-4-457-462>. EDN: AKFAPH.
- Головач Т. Н., Ловкис З. В., Курченко В. П., Янцевич А. В. [и др.]. Биологически активные гидролизаты белков молока и их комплексы включения с циклодекстринами // *Техника и технология пищевых производств*. 2024. Т. 54, № 3. С. 461–482. DOI: <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2024-3-2521>. EDN: RCPBYJ.
- Колпакова В. В., Бызов В. А. Функциональные характеристики и молекулярно-структурная модификация растительных белков. Обзор // *Пищевые системы*. 2024. Т. 7, № 3. С. 324–335. DOI: <https://doi.org/10.21323/2618-9771-2024-7-3-324-335>. EDN: IESGEY.
- Кретович В. Л. Введение в энзимологию. М.: Наука, 1986. 336 с.
- Куликов Д. С., Королев А. А. Аспекты ферментативной модификации растительных белков // *Пищевые системы*. 2025б. Т. 8, № 1. С. 22–28. DOI: <https://doi.org/10.21323/2618-9771-2025-8-1-22-28>. EDN: FFBYAA.
- Куликов Д. С., Королёв А. А., Панкратов И. В. Анализ современных способов получения гидролизатов и биоактивных пептидов из белковых компонентов пшеницы // *Пищевая промышленность*. 2025а. № 4. С. 88–94. DOI: <https://doi.org/10.52653/PPI.2025.4.4.016>. EDN: KFOFAJ.
- Курченко В. П., Головач Т. Н., Сушинская Н. В., Шрамко М. И. [и др.]. Использование полисахаридов для снижения горького вкуса гипоаллергенных пептидов гидролизата белков сыворотки молока // *Молочная промышленность*. 2023. № 3. С. 28–31. DOI: <https://doi.org/10.31515/1019-8946-2023-03-28-31>. EDN: IUNAPF.
- Мосолов В. В. Протеолитические ферменты. М.: Наука, 1971. 414 с.
- Остерман Л. А. Хроматография белков и нуклеиновых кислот. М.: Наука, 1985. 536 с.
- Свириденко Ю. Я., Мягконос Д. С., Абрамов Д. В., Овчинникова Е. Г. Научно-методические подходы к развитию технологии белковых гидролизатов для специального питания. Часть 1. Технология производства и технические характеристики гидролизатов // *Пищевая промышленность*. 2017а. № 5. С. 48–51. EDN: YPIXGD.
- Свириденко Ю. Я., Мягконос Д. С., Абрамов Д. В., Овчинникова Е. Г. Научно-методические подходы к развитию технологии белковых гидролизатов для специального питания. Часть 2. Функциональные свойства белковых гидролизатов, зависящие от специфичности протеолитических процессов // *Пищевая промышленность*. 2017б. № 6. С. 50–53. EDN: YRXEBF.
- Семенова Е. С., Симоненко С. В., Симоненко Е. С., Щетникова М. Ю. Возникновение горького вкуса и способы его коррекции в гидролизатах молочных белков // *Пищевая промышленность*. 2023. № 9. С. 48–51. DOI: <https://doi.org/10.52653/PPI.2023.9.9.008>. EDN: TWZRLW.
- Серба Е. М., Римарева Л. В., Оверченко М. Б., Игнатова Н. И. [и др.]. Роль биокатализа в технологиях переработки зернового сырья // *Пищевая промышленность*. 2022. № 5. С. 13–15. DOI: <https://doi.org/10.52653/PPI.2022.5.5.003>. EDN: UIZPBG.
- FitzGerald R. J., O’Cuinn G. Enzymatic debittering of food protein hydrolysates // *Biotechnology Advances*. 2006. Vol. 24, Iss. 2. P. 234–237. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.biotechadv.2005.11.002>.
- Krikunova L. N., Meleshkina E. P., Vitol I. S., Dubinina E. V. [et al.]. Grain bran hydrolysates in the production of fruit distillates // *Foods and Raw Materials*. 2023. Vol. 11, Iss. 1. P. 35–42. DOI: <https://doi.org/10.21603/2308-4057-2023-1-550>. EDN: STUWOP.
- Liu B., Li N., Chen F., Zhang J. [et al.]. Review on the release mechanism and debittering technology of bitter peptides from protein hydrolysates // *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*. 2022. Vol. 21, Iss. 6. P. 5153–5170. DOI: <https://doi.org/10.1111/1541-4337.13050>.
- Meinschmidt P., Sussmann D., Schweiggert-Weisz U., Eisner P. Enzymatic treatment of soy protein isolates: Effects on the potential allergenicity, technofunctionality, and sensory properties // *Food Science & Nutrition*. 2016. Vol. 4, Iss. 1. P. 11–23. DOI: <https://doi.org/10.1002/fsn3.253>.
- Rogers A., Gibon Y. Enzyme kinetics: Theory and practice // *Plant Metabolic Networks* / eds.: Schwender J. Springer, New York, NY, 2009. DOI: https://doi.org/10.1007/978-0-387-78745-9_4.
- Seibert E., Tracy T. S. Fundamentals of enzyme kinetics: Michaelis – Menten and non-Michaelis-type (atypical) enzyme kinetics // *Enzyme Kinetics in Drug Metabolism. Methods in Molecular Biology* / eds.: Nagar S., Argikar U. A., Tweedie D. Humana, New York, NY, 2021. Vol. 2342. P. 3–27. DOI: https://doi.org/10.1007/978-1-0716-1554-6_1.

References

- Balaban, N. P., Sharipova, M. R. 2011. Practical application of bacillary proteases. *Proceedings of Kazan University. Natural Sciences Series*, 153(2), pp. 29–40. EDN: OCRYED. (In Russ.)
- Boltovsky, V. S. 2021. Enzymatic hydrolysis of plant raw materials: State and prospects. *Proceedings of the National Academy of Sciences of Belarus. Chemical Series*, 57(4), pp. 502–512. DOI: <https://doi.org/10.29235/1561-8331-2021-57-4-502-512>. EDN: QBZIZV. (In Russ.)

- Vitol, I. S., Kolomiets, S. N., Gerasina, A. Yu. 2025б. Mixtures of different types of bran as objects for enzymatic modification. *Food Processing Industry*, 8, pp. 16–18. DOI: <https://doi.org/10.52653/ppi.2025.8.8.004>. EDN: HBRDNW. (In Russ.)
- Vitol, I. S., Meleshkina, E. P. 2025в. Enzymatic modification of secondary grain processing products. *Food Processing Industry*, 5, pp. 140–143. DOI: <https://doi.org/10.52653/ppi.2025.5.5.026>. EDN: YACUOA. (In Russ.)
- Vitol, I. S., Meleshkina, E. P. 2025а. Enzymatic hydrolysates of grain and its processed products (review of the subject field). *Food Systems*, 8(1), pp. 144–152. DOI: <https://doi.org/10.21323/2618-9771-2025-8-1-144-152>. EDN: QPFADA. (In Russ.)
- Vitol, I. S., Meleshkina, E. P., Krikunova, L. N. 2023. Compositions of enzyme preparations for targeted modification of bran. *Food Systems*, 6(4), pp. 457–462. DOI: <https://doi.org/10.21323/2618-9771-2023-6-4-457-462>. EDN: AKFAPH. (In Russ.)
- Golovach, T. N., Lovkis, Z. V., Kurchenko, V. P., Yantsevich, A. V. et al. 2024. Biologically active hydrolysates of milk proteins and their inclusion complexes with cyclodextrines. *Food Processing: Techniques and Technology*, 54(3), pp. 461–482. DOI: <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2024-3-2521>. EDN: RCPBYJ. (In Russ.)
- Kolpakova, V. V., Byzov, V. A. 2024. Functional characteristics and molecular-structural modification of plant proteins. Review. *Food Systems*, 7(3), pp. 324–335. DOI: <https://doi.org/10.21323/2618-9771-2024-7-3-324-335>. EDN: IESGEY. (In Russ.)
- Kretovich, V. L. 1986. Introduction to enzymology. Moscow. (In Russ.)
- Kulikov, D. S., Korolev, A. A. 2025б. Aspects of enzymatic modification of plant proteins. *Food Systems*, 8(1), pp. 22–28. DOI: <https://doi.org/10.21323/2618-9771-2025-8-1-22-28>. EDN: FFBYAA. (In Russ.)
- Kulikov, D. S., Korolev, A. A., Pankratov, I. V. 2025а. Analysis of modern methods for obtaining hydrolysates and bioactive peptides from protein components of wheat. *Food Processing Industry*, 4, pp. 88–94. DOI: <https://doi.org/10.52653/PPI.2025.4.4.016>. EDN: KFOFAJ. (In Russ.)
- Kurchenko, V. P., Golovach, T. N., Sushinskaya, N. V., Shrasko, M. I. et al. 2023. Use of polysaccharides to reduce the bitter taste of hypoallergenic peptides of whey protein hydrolysate. *Dairy Industry*, 3, pp. 28–31. DOI: <https://doi.org/10.31515/1019-8946-2023-03-28-31>. EDN: IUHAPF. (In Russ.)
- Mosolov, V. V. 1971. Proteolytic enzymes. Moscow. (In Russ.)
- Osterman, L. A. 1985. Chromatography of proteins and nucleic acids. Moscow. (In Russ.)
- Sviridenko, Yu. Ya., Myagkonosov, D. S., Abramov, D. V., Ovchinnikova, E. G. 2017а. Scientific and methodological approaches to the development of protein hydrolysate technology for special nutrition. Part 1. Production technology and technical characteristics of hydrolysates. *Food Processing Industry*, 5, pp. 48–51. EDN: YPIXGD. (In Russ.)
- Sviridenko, Yu. Ya., Myagkonosov, D. S., Abramov, D. V., Ovchinnikova, E. G. 2017б. Scientific and methodological approaches to the development of protein hydrolysate technology for special nutrition. Part 2. Functional properties of protein hydrolysates depending on the specificity of proteolytic processes. *Food Processing Industry*, 6, pp. 50–53. EDN: YRXEBF. (In Russ.)
- Semenova, E. S., Simonenko, S. V., Simonenko, E. S., Shchetnikova, M. Yu. 2023. The emergence of bitter taste and methods for its correction in milk protein hydrolysates. *Food Processing Industry*, 9, pp. 48–51. DOI: <https://doi.org/10.52653/PPI.2023.9.9.008>. EDN: TWZRLW. (In Russ.)
- Serba, E. M., Rimareva, L. V., Overchenko, M. B., Ignatova, N. I. et al. 2022. The role of biocatalysis in grain raw material processing technologies. *Food Processing Industry*, 5, pp. 13–15. DOI: <https://doi.org/10.52653/PPI.2022.5.5.003>. EDN: UIZPBG. (In Russ.)
- FitzGerald, R. J., O’Cuinn, G. 2006. Enzymatic debittering of food protein hydrolysates. *Biotechnology Advances*, 24(2), pp. 234–237. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.biotechadv.2005.11.002>.
- Krikunova, L. N., Meleshkina, E. P., Vitol, I. S., Dubinina, E. V. et al. 2023. Grain bran hydrolysates in the production of fruit distillates. *Foods and Raw Materials*, 11(1), pp. 35–42. DOI: <https://doi.org/10.21603/2308-4057-2023-1-550>. EDN: STUWOP.
- Liu, B., Li, N., Chen, F., Zhang, J. et al. 2022. Review on the release mechanism and debittering technology of bitter peptides from protein hydrolysates. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 21(6), pp. 5153–5170. DOI: <https://doi.org/10.1111/1541-4337.13050>.
- Meinlschmidt, P., Sussmann, D., Schweiggert-Weisz, U., Eisner, P. 2016. Enzymatic treatment of soy protein isolates: Effects on the potential allergenicity, technofunctionality, and sensory properties. *Food Science & Nutrition*, 4(1), pp. 11–23. DOI: <https://doi.org/10.1002/fsn.3253>.
- Rogers, A., Gibon, Y. 2009. Enzyme kinetics: Theory and practice. In *Plant Metabolic Networks*. Eds.: Schwender J. Springer, New York, NY. DOI: https://doi.org/10.1007/978-0-387-78745-9_4.
- Seibert, E., Tracy, T. S. 2021. Fundamentals of enzyme kinetics: Michaelis – Menten and non-Michaelis-type (atypical) enzyme kinetics. In *Enzyme Kinetics in Drug Metabolism. Methods in Molecular Biology*. Eds.: Nagar S., Argikar U. A., Tweedie D. Humana, New York, NY, Vol. 2342, pp. 3–27. DOI: https://doi.org/10.1007/978-1-0716-1554-6_1.

Сведения об авторах

Витол Ирина Сергеевна – Дмитровское шоссе, 11, г. Москва, Россия, 127434;
Всероссийский научно-исследовательский институт зерна и продуктов его переработки – филиал ФНЦ пищевых систем им. В. М. Горбатова РАН, канд. биол. наук, доцент, ст. науч. сотрудник;
e-mail: vitolis@yandex.ru; i.vitol@fncps.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5362-8909>

Irina S. Vitol – 11 Dmitrovskoye Shosse, Moscow, Russia, 127434;
All-Russian Scientific and Research Institute for Grain and Products of its Processing
– Branch of V. M. Gorbato Federal Research Center for Food Systems of RAS, Cand. Sci. (Biology),
Associate Professor, Senior Researcher;
e-mail: vitolis@yandex.ru; i.vitol@fncps.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5362-8909>

Мелешкина Елена Павловна – Дмитровское шоссе, 11, г. Москва, Россия, 127434;
Всероссийский научно-исследовательский институт зерна и продуктов его переработки
– филиал ФНЦ пищевых систем им. В. М. Горбатова РАН, д-р техн. наук;
e-mail: e.meleshkina@fncps.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1339-7150>

Elena P. Meleshkina – 11 Dmitrovskoye Shosse, Moscow, Russia, 127434;
All-Russian Scientific and Research Institute for Grain and Products of its Processing
– Branch of V. M. Gorbato Federal Research Center for Food Systems of RAS, Dr Sci. (Engineering);
e-mail: e.meleshkina@fncps.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1339-7150>

УДК 664.959.5:597.555.51

Научное обоснование срока годности белкового рыбного гидролизата, полученного с использованием фермента протосубтилина Г3х

Ю. В. Живлянцева*, Л. К. Куранова

*Национальный центр безопасности рыбной и сельскохозяйственной продукции, г. Мурманск, Россия;
e-mail: youliapetrakova@mail.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4957-297X>

Информация о статье Реферат

Поступила
в редакцию
15.05.2025;

получена
после доработки
27.05.2025;

принята
к публикации
05.06.2025

Ключевые слова:

белковый рыбный
гидролизат,
вторичное рыбное
сырье,
питательные среды,
протосубтилин Г3х

Белковый рыбный гидролизат, полученный методом ферментативного гидролиза из вторичного рыбного сырья с использованием фермента протосубтилина Г3х, является белковой составляющей в альтернативных микробиологических питательных средах. Высушенная форма белкового рыбного гидролизата (БРГ) предпочтительнее по сравнению с жидкой из-за более длительного срока хранения, более удобного способа хранения и транспортировки. Срок годности питательной среды – одна из основных характеристик, на которую ориентируется покупатель продукции. Целью работы является научное обоснование срока годности БРГ, который будет использован в качестве основы для приготовления альтернативных питательных сред. Для проведения исследований применялись органолептические, микробиологические и физико-химические методы. Были подготовлены три партии опытных образцов БРГ, которые хранились в герметично упакованных банках в темном сухом месте при определенной температуре и влажности воздуха. Разработана схема исследования белкового рыбного гидролизата через определенный промежуток времени с учетом коэффициента резерва. Все партии БРГ прошли испытания в аккредитованных лабораториях. Содержание токсичных элементов в БРГ составило: свинца – менее 1,0 мг/кг, кадмия – менее 0,2 мг/кг, мышьяка – менее 5,0 мг/кг, ртути – 0,5 мг/кг. Сумма нитрозаминов (НДМА и НДЭА) составила менее 0,003 мг/кг, полихлорированных бифенилов – менее 2,0 мг/кг. Анализ пестицидов выявил наличие гексахлорциклогексана (альфа-, бета-, гамма-изомеров) в количествах менее 0,02 мг/кг, ДДТ и его метаболитов – менее 0,2 мг/кг. Содержание радионуклидов не превышало допустимой нормы: цезий-137 – $4,3 \pm 0,1$ Бк/кг, стронций-90 – $3,9 \pm 0,1$ Бк/кг. Микробиологическими исследованиями установлено отсутствие в массе продукта бактерий группы кишечных палочек, золотистого стафилококка, патогенных сальмонелл, а также показателей гнилостной порчи (протей, плесени, дрожжи). Результаты исследований продемонстрировали возможность хранения белкового рыбного гидролизата в течение 4-х лет.

Для цитирования

Живлянцева Ю. В. и др. Научное обоснование срока годности белкового рыбного гидролизата, полученного с использованием фермента протосубтилина Г3х. Вестник МГТУ. 2025. Т. 28, № 3. С. 342–347. DOI: <https://doi.org/10.21443/1560-9278-2025-28-3-342-347>.

Scientific justification of the shelf life of fish protein hydrolysate obtained using the enzyme protosubtilin G3x

Yuliia V. Zhivlyantseva*, Lyudmila K. Kuranova

*National Center for Fish and Agricultural Products Safety, Murmansk, Russia;
e-mail: youliapetrakova@mail.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4957-297X>

Article info

Received
15.05.2025;

received
in revised form
27.05.2025;

accepted
05.06.2025

Key words:

fish protein hydrolysate,
fish wastes,
recycle fish materials,
culture medium,
protosubtilin G3x

Abstract

Fish protein hydrolysate obtained by enzymatic hydrolysis from recycle fish materials using the enzyme protosubtilin G3x is a protein component in alternative microbiological culture media. The dried form of fish protein hydrolysate (FPH) is more preferable compared to the liquid one due to a longer shelf life, a more convenient method of storage and transportation. The shelf life of the culture medium is one of the main characteristics that the buyer of this product focuses on. The purpose of the work is to scientifically substantiate the shelf life of FPH, which will be used as a basis for the preparation of alternative culture media. Organoleptic, microbiological and physicochemical methods have been used to conduct the research. Three batches of experimental samples of FPH have been prepared and stored in hermetically sealed jars in a dark dry place at a certain temperature and humidity. A scheme for studying fish protein hydrolysate after a certain period of time has been developed taking into account the reserve factor. All batches of fish protein hydrolysate have been tested in accredited laboratories. The content of toxic elements in FPH is: lead – less than 1.0 mg/kg, cadmium – less than 0.2 mg/kg, arsenic – less than 5.0 mg/kg, mercury – 0.5 mg/kg. The sum of nitrosamines (NDMA and NDEA) is less than 0.003 mg/kg, polychlorinated biphenyls – less than 2.0 mg/kg. Pesticide analysis has revealed the presence of hexachlorocyclohexane (alpha-, beta-, gamma-isomers) in quantities of less than 0.02 mg/kg, DDT and its metabolites – less than 0.2 mg/kg. The radionuclides content does not exceed the permissible limit and is: cesium-137 – 4.3 ± 0.1 Bq/kg, strontium-90 – 3.9 ± 0.1 Bq/kg. Microbiological studies have established the absence of coliform bacteria, *Staphylococcus aureus*, pathogenic salmonella, as well as the absence of indicators of putrefactive spoilage (proteus, mold, yeast). The results of the studies have shown the possibility of storing fish protein hydrolysate for 4 years.

For citation

Zhivlyantseva, Yu. V. et al. 2025. Scientific justification of the shelf life of fish protein hydrolysate obtained using the enzyme protosubtilin G3x. *Vestnik of MSTU*, 28(3), pp. 342–347. (In Russ.) DOI: <https://doi.org/10.21443/1560-9278-2025-28-3-342-347>.

Введение

Белковый рыбный гидролизат – это продукт, полученный из вторичного рыбного сырья (головы, хребты) путем ферментативного гидролиза. Хребты и головы трески измельчали на мясорубке с диаметром отверстий решетки 7 мм. Анализом химического состава установлено, что содержание белка в отходах составляет от 15 % (за счет значительного количества прирезей мяса), содержание жира – 0,9 % (Petrova et al., 2021).

В качестве ферментного препарата использовали протосубтилин ГЗх ("Сиббиофарм", Россия) – фермент, полученный путем высушивания культуральной жидкости после глубинного выращивания культуры *Bacillus subtilis*. Концентрация фермента составила 1,33 % (Живлянцева и др., 2018; Kuranova et al., 2019). Опытный образец гидролизата был высушен в распылительной сушилке GB 22 (Yamato Scientific America Inc.) при температуре 200°.

Белковый рыбный гидролизат используется в качестве белковой составляющей в альтернативных микробиологических питательных средах (Новожилов и др., 2025). Основной характеристикой, оценивающей пригодность продукции для использования, является срок годности (Живлянцева и др., 2018; Kuranova et al., 2019). В связи с этим проведены исследования белкового рыбного гидролизата и оценены его характеристики в процессе хранения. С целью определения срока годности сухого продукта проведены испытания белкового рыбного гидролизата согласно МУК 4.2.1847-04 "Санитарно-эпидемиологическая оценка обоснования сроков годности и условий хранения пищевых продуктов. Методические указания", СанПиН 2.3.2.1324-03 "Гигиенические требования к срокам годности и условиям хранения пищевых продуктов".

Материалы и методы

Материалом для исследования служил белковый рыбный гидролизат, в апреле 2020 г. по разработанной авторами технологии изготовлено три партии гидролизата (06.04.20, 07.04.2020, 08.04.2020 соответственно) (Zhivlyantseva et al., 2024).

Исследования проведены авторами на базе Испытательной лаборатории продукции, сырья и материалов ФБУ "Мурманский ЦСМ" и Испытательной лаборатории Мурманского филиала "Национального центра безопасности рыбной и сельскохозяйственной продукции" (далее ИЦПСИМ ФБУ "Мурманский ЦСМ" и ФГБУ "НЦБРСП"), а также сотрудниками Испытательного центра контроля в г. Железнодорожный, Московской обл. (далее ИЦК).

При проведении экспериментальных исследований определялись следующие микробиологические показатели с использованием классических методов: КМАФАнМ – ГОСТ 10444.15-94 "Продукты пищевые. Методы определения количества мезофильных аэробных и факультативно-анаэробных микроорганизмов"¹, БГКП – ГОСТ 31747-2012 "Продукты пищевые. Методы выявления и определения количества бактерий группы кишечных палочек (колиформных бактерий)", *Staphylococcus aureus* – ГОСТ 31746-2012 "Продукты пищевые. Методы выявления и определения количества коагулазоположительных стафилококков и *Staphylococcus aureus*", *Salmonella* – ГОСТ 31659-2012 "Продукты пищевые. Метод выявления бактерий рода *Salmonella*", протей – ГОСТ 28560-90 "Продукты пищевые. Метод выявления бактерий родов *Proteus*, *Morganella*, *Providencia*", плесени и дрожжи – ГОСТ 10444.12-2013 "Микробиология пищевых продуктов и кормов для животных. Методы выявления и подсчета количества дрожжей и плесневых грибов".

Обработка экспериментальных данных осуществлялась общепринятыми статистическими методами в программе Excel.

Результаты и обсуждение

Для оценки результатов испытаний белкового рыбного гидролизата была разработана программа, в соответствии с которой проведены испытания трех различных партий (дат изготовления) БРГ. Образцы были опечатаны и оставлены на хранение на протяжении всего предполагаемого срока годности с учетом срока, определенного коэффициентом резерва.

Опытные партии белкового рыбного гидролизата хранили в герметично упакованных банках в темном сухом месте при температуре 21 ± 2 °С и влажности воздуха 25 ± 1 . Исследования проводили по схеме: при выработке БРГ (в начале хранения – фон), в середине хранения (6 мес., 12 мес., 18 мес., 24 мес., 36 мес.), на момент предположительного окончания срока годности (48 мес.) и через промежуток времени, определенный соответствующим коэффициентом резерва (58 мес.). Коэффициент резерва для рыбного белкового гидролизата составляет 1,2. Программа исследований срока годности БРГ в процессе хранения представлена в табл. 1.

Отбор проб продукции проводился в соответствии с календарным планом в количестве, необходимом для проведения органолептических, физико-химических и микробиологических испытаний согласно ГОСТ 31339-2006 "Рыба, нерыбные объекты и продукция из них. Правила приемки и методы отбора проб"

¹ Информация о нормативных документах и ГОСТах представлена в Приложении.

(с изменениями 1, 2), ГОСТ 31904-2012 "Продукты пищевые. Методы отбора проб для микробиологических испытаний", ГОСТ 32164-2013 "Продукты пищевые. Метод отбора проб для определения стронция Sr-90 и цезия Cs-137 (с поправкой)".

Таблица 1. Программа исследований срока годности белкового рыбного гидролизата
в процессе хранения

Table 1. Research program of shelf life of fish protein hydrolysate during storage

№ п/п	Показатель	Значение показателя по НД	Периодичность за время хранения	Контрольные точки проведения исследований: месяц хранения				
				фон	6	12	18–36–48	58
1	Токсичные элементы: – свинец – мышьяк – кадмий – ртуть	1,0 5,0 0,2 0,5	1 раз после выработки	+				
2	Нитрозамины	0,003	1 раз после выработки	+				
3	Пестициды: – ГХЦГ (альфа-, бета-, гамма-изомеры) – ДДТ и его метаболиты	0,2 0,2	1 раз после выработки	+				
4	Полихлорированные бифенилы	2,0	1 раз после выработки	+				
5	Радионуклиды: – цезий-137 – стронций-90	130 100	1 раз после выработки	+				
6	КМАФАнМ, КОЕ/г	Не более 1×10^5	8 раз	+	+	+	+++	+
7	БГКП	Не допускаются в 0,001 г, в 0,01 г	8 раз	+	+	+	+++	+
8	<i>Staphylococcus aureus</i>	Не допускаются в 0,01 г, в 0,1 г	8 раз	+	+	+	+++	+
9	Сальмонеллы	Не допускаются в 25 г	8 раз	+	+	+	+++	+
10	Органолептические показатели	ТУ 10.20.42-119- 00471633-2023	8 раз	+	+	+	+++	+

С целью получения сравнительных результатов партия 1 частично была направлена на исследования в ИЦК (г. Железнодорожный) на половине предполагаемого срока хранения – 24 месяца. В связи с получением идентичных с авторами результатов анализов, дальнейший сравнительный анализ результатов не проводили.

Органолептические показатели – внешний вид, цвет, прозрачность, растворимость – соответствовали допустимым значениям на протяжении всего срока хранения.

Содержание токсичных элементов в БРГ составило: свинца – менее 1,0 мг/кг, кадмия – менее 0,2 мг/кг, мышьяка – менее 5,0 мг/кг, ртути – 0,5 мг/кг. Сумма нитрозаминов (НДМА и НДЭА) составила менее 0,003 мг/кг, полихлорированных бифенилов – менее 2,0 мг/кг. Анализ пестицидов выявил наличие гексахлорциклогексан (альфа-, бета-, гамма-изомеров) в количествах менее 0,02 мг/кг, ДДТ и его метаболитов – менее 0,2 мг/кг.

Содержание радионуклидов не превышало допустимой нормы и составило: цезий-137 – $4,3 \pm 0,1$ Бк/кг, стронций-90 – $3,9 \pm 0,1$ Бк/кг.

Микробиологическими исследованиями установлено отсутствие в массе продукта бактерий группы кишечных палочек, золотистого стафилококка, патогенных сальмонелл, а также показателей гнилостной порчи (протей, плесени, дрожжи). Динамика развития показателя КМАФАнМ в процессе хранения представлена в табл. 2 и на рисунке.

На рисунке видно, что фоновое значение КМАФАнМ в каждой партии составляло менее 10 КОЕ/г (роста нет). В процессе хранения количество микроорганизмов постепенно увеличивается, но не достигает максимально допустимого значения. Согласно ТУ 10.20.42-119-00471633-2023 максимально допустимое значение показателя КМАФАнМ составляет 5×10^3 . Белковый рыбный гидролизат относится к продуктам с низкой влажностью (менее 0,6), следовательно, развитие микроорганизмов в сухом продукте замедлено, что способствует длительному хранению.

Таблица 2. Динамика развития КМАФАнМ в процессе хранения
Table 2. Dynamics of QMAFAnM development during storage

Срок хранения, мес.	КМАФАнМ, КОЕ/г Партия 1	КМАФАнМ, КОЕ/г Партия 2	КМАФАнМ, КОЕ/г Партия 3
Фон	Менее 10	Менее 10	Менее 10
6	$6,0 \times 10^1$	$4,0 \times 10^1$	$8,3 \times 10^1$
12	$9,0 \times 10^1$	$7,0 \times 10^1$	$9,6 \times 10^1$
18	$1,2 \times 10^2$	$1,1 \times 10^2$	$2,8 \times 10^2$
24	$1,8 \times 10^2$	$1,6 \times 10^2$	$3,2 \times 10^2$
36	$2,5 \times 10^2$	$3,5 \times 10^2$	$3,5 \times 10^2$
48	$3,0 \times 10^2$	$4,0 \times 10^2$	$4,0 \times 10^2$
58 (период исследований с коэффициентом резерва 1,2)	$8,5 \times 10^2$	$8,5 \times 10^2$	$9,5 \times 10^2$

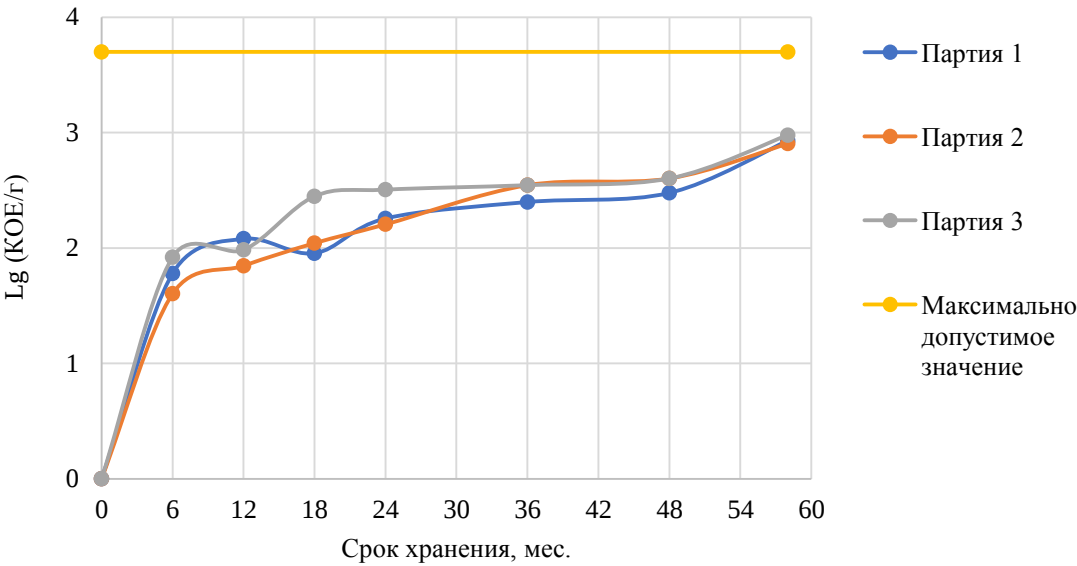


Рис. Динамика развития показателя КМАФАнМ в процессе хранения
Fig. Dynamics of QMAFAnM development indicator during storage

Результаты испытаний образцов продукции на протяжении всего проанализированного периода хранения подтвердили соответствие качества исследованного гидролизата требованиям Техническим регламентам ТР ТС 021/2011, ТР ЕАЭС 040/2016. Результаты испытаний аккредитованной лабораторией ИЦК г. Железнодорожный не противоречат результатам, полученным авторами. Таким образом, результаты исследований подтвердили предполагаемый срок годности 4 года.

Заключение

В результате проведенных исследований установлен научно обоснованный срок годности белкового рыбного гидролизата при температуре хранения не выше 25 °С и влажности окружающего воздуха не более 70 % – 4 года. Срок хранения продукта соответствует сроку его годности.

Результаты исследования по научному обоснованию срока годности продукта позволили разработать и утвердить нормативно-техническую документацию ТУ 10.20.42-119-00471633-2023 «Белковый рыбный гидролизат "Атлантика"» и ТИ 119/2023 на производство белкового рыбного гидролизата для микробиологических сред из отходов от разделки тресковых видов рыб.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Благодарности

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 24-26-20058, <https://rscf.ru/project/24-26-20058/>, а также при реализации Соглашения № 199 от 03.05.2024 г. между Минобрнауки Мурманской области и Мурманским арктическим университетом.

Библиографический список

- Живлянцева Ю. В., Куранова Л. К., Волченко В. И., Гроховский В. А. Пептон из вторичных продуктов переработки атлантической трески: технология, качество, использование // Вестник Камчатского государственного технического университета. 2018. № 45. С. 28–36. DOI: <https://doi.org/10.17217/2079-0333-2018-45-28-36>. EDN: YAAMBN.
- Новожилов М. П., Ершов М. А., Куранова Л. К. [и др.]. Исследование качества нового вида пастеризованной продукции из икры морских ежей // Биотехнологии – драйвер развития экономики территорий : материалы II Всерос. науч.-практ. конф., Мурманск, 26 ноября 2024 г. Мурманск : Изд-во МАУ, 2025. С. 40–44. EDN: SMTDAJ.
- Kuranova L. K., Grokhovsky V. A., Zhivlyantseva Yu. V., Volchenko V. I. Developing the technology and evaluating the biological value of the peptone from secondary products of processing of fish raw material of the Arctic region // International Journal of Mechanical Engineering and Technology (IJMET). 2019. Vol. 10, Iss. 3. P. 1880–1893.
- Petrova I., Tolstorebrov I., Zhivlyantseva Yu., Eikevik T. M. Utilization of fish protein hydrolysates as peptones for microbiological culture media // Food Bioscience. 2021. Vol. 42. Article number: 101063. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.fbio.2021.101063>.
- Zhivlyantseva Yu. V., Kuranova L. K., Grokhovsky V. A. The use of protein hydrolysate from fish waste as part of microbiological culture media // Вестник МГТУ. 2024. Т. 27, № 3. С. 294–301. DOI: <https://doi.org/10.21443/1560-9278-2024-27-3-294-301>.

References

- Zhivlyantseva, Yu. V., Kuranova, L. K., Volchenko, V. I., Grokhovsky, V. A. 2018. Peptone from by-products of Atlantic cod processing: Technology, quality, use. *Bulletin of Kamchatka State Technical University*, 45, pp. 28–36. (In Russ.) DOI: <https://doi.org/10.17217/2079-0333-2018-45-28-36>. EDN: YAAMBN.
- Novozhilov, M. P., Ershov, M. A., Kuranova, L. K. et al. 2025. Study of the quality of a new type of pasteurized products from sea urchin caviar. Proceedings of the II All-Russian scientific and practical conf. *Biotechnology – a driver for the development of territorial economies*, Murmansk, 26 November, 2024. Murmansk, pp. 40–44. EDN: SMTDAJ. (In Russ.)
- Kuranova, L. K., Grokhovsky, V. A., Zhivlyantseva, Yu. V., Volchenko, V. I. 2019. Developing the technology and evaluating the biological value of the peptone from secondary products of processing of fish raw material of the Arctic region. *International Journal of Mechanical Engineering and Technology (IJMET)*, 10(3), pp. 1880–1893.
- Petrova, I., Tolstorebrov, I., Zhivlyantseva, Yu., Eikevik, T. M. 2021. Utilization of fish protein hydrolysates as peptones for microbiological culture media. *Food Bioscience*, 42. Article number: 101063. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.fbio.2021.101063>.
- Zhivlyantseva, Yu. V., Kuranova, L. K., Grokhovsky, V. A. 2024. The use of protein hydrolysate from fish waste as part of microbiological culture media. *Vestnik of MSTU*, 27(3), pp. 294–301. DOI: <https://doi.org/10.21443/1560-9278-2024-27-3-294-301>.

Сведения об авторах

Живлянцева Юлия Вячеславовна – ул. Траловая, 47А, г. Мурманск, Россия, 183001;

Национальный центр безопасности рыбной и сельскохозяйственной продукции,

начальник отдела микробиологических исследований;

e-mail: youliaPETRAKOVA@mail.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4957-297X>

Yuliia V. Zhivlyantseva – 47A Tralovaya Str., Murmansk, Russia, 183001;

National Center for Fish and Agricultural Products Safety, Head of the Microbiological Research Department;

e-mail: youliaPETRAKOVA@mail.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4957-297X>

Куранова Людмила Казимировна – ул. Спортивная, 13, г. Мурманск, Россия, 183010;

Мурманский арктический университет, канд. техн. наук;

e-mail: kuranoval@rambler.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6899-6076>

Lyudmila K. Kuranova – 13 Sportinaya Str., Murmansk, Russia, 183010;

Murmansk Arctic University, Cand. Sci. (Engineering);

e-mail: kuranoval@rambler.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6899-6076>

Нормативные документы, использованные в статье

ГОСТ 10444.12-2013	Микробиология пищевых продуктов и кормов для животных. Методы выявления и подсчета количества дрожжей и плесневых грибов
ГОСТ 10444.15-94	Продукты пищевые. Методы определения количества мезофильных аэробных и факультативно-анаэробных микроорганизмов
ГОСТ 28560-90	Продукты пищевые. Метод выявления бактерий родов <i>Proteus</i>
ГОСТ 31339-2006	Рыба, нерыбные объекты и продукция из них. Правила приемки и методы отбора проб
ГОСТ 31659-2012	Продукты пищевые. Метод выявления бактерий рода <i>Salmonella</i>
ГОСТ 31746-2012	Продукты пищевые. Методы выявления и определения количества коагулазоположительных стафилококков и <i>Staphylococcus aureus</i>
ГОСТ 31747-2012	Продукты пищевые. Методы выявления и определения количества бактерий группы кишечных палочек (колиформных бактерий)
ГОСТ 31904-2012	Продукты пищевые. Методы отбора проб для микробиологических испытаний
ГОСТ 32164-2013	Продукты пищевые. Метод отбора проб для определения стронция Sr-90 и цезия Cs-137
ГОСТ 10444.15-94	Продукты пищевые. Метод выявления бактерий родов <i>Proteus</i> , <i>Morganella</i> , <i>Providencia</i>
МУК 4.2.1847-04	Санитарно-эпидемиологическая оценка обоснования сроков годности и условий хранения пищевых продуктов. Методические указания
СанПиН 2.3.2.1324-03	Гигиенические требования к срокам годности и условиям хранения пищевых продуктов
ТР ТС 021/2011	Технический регламент Таможенного союза "О безопасности пищевой продукции"
ТР ЕАЭС 040/2016	Технический регламент Евразийского экономического союза "О безопасности рыбы и рыбной продукции"

УДК 664.959.5

Влияние посола сельди на физико-химические и функциональные свойства коллагеновых гидролизатов, полученных из ее кожи

Е. А. Рудова*, Е. Э. Куприна, К. В. Боброва

**Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический университет),
г. Санкт-Петербург, Россия;*

e-mail: czvetova123@mail.ru, ORCID: <https://orcid.org/0009-0009-0665-8405>

Информация о статье Реферат

Поступила
в редакцию
31.03.2025;

получена
после доработки
03.07.2025;

принята
к публикации
18.07.2025

Ключевые слова:

гидролизат коллагена,
электрохимический
гидролиз,
переработка рыбных
отходов,
сельдь атлантическая,
посол сельди

Продукты гидролиза кожи – отходы производства пресервов из сельди соленой – имеют высокий потенциал использования в пищевой промышленности и сельском хозяйстве в качестве добавок, повышающих пищевую ценность продуктов питания и кормов. В работе проведено сравнительное исследование свойств гидролизатов из кожи атлантической сельди соленой и свежемороженой. Гидролиз сырья проводился в среде католита, полученного в результате электролиза воды. Степень гидролиза гидролизата из кожи сельди свежемороженой составила $38,7 \pm 0,1$ %, из кожи сельди соленой – $52,2 \pm 0,2$ %. Гидролизат из кожи сельди свежемороженой показал большую пенообразующую способность, чем гидролизат из кожи сельди соленой, 233 ± 3 и 167 ± 3 % соответственно. Однако гидролизат из кожи сельди соленой образовывал более стабильные при хранении пену и жировую эмульсию, что дало возможность рекомендовать его к использованию в эмульсионных продуктах питания. В обоих гидролизатах обнаружены аминокислоты: пролин, глицин, аланин и глутаминовая кислота. Рассчитано содержание коллагена в гидролизатах из кожи сельди соленой и свежемороженой, которое составило $25,1 \pm 0,5$ и $18,7 \pm 0,4$ мг/мл соответственно, что позволило рекомендовать гидролизаты, полученные предложенным способом, в качестве добавок, повышающих пищевую ценность продуктов питания и кормов.

Для цитирования

Рудова Е. А. и др. Влияние посола сельди на физико-химические и функциональные свойства коллагеновых гидролизатов, полученных из ее кожи. Вестник МГТУ. 2025. Т. 28, № 3. С. 348–359. DOI: <https://doi.org/10.21443/1560-9278-2025-28-3-348-359>.

The effect of salting herring on the physicochemical and functional properties of collagen hydrolysates obtained from its skin

Ekaterina A. Rudova*, Elena E. Kuprina, Kristina V. Bobrova

**Saint Petersburg State Institute of Technology (Technical University), Saint Petersburg, Russia;*

e-mail: czvetova123@mail.ru, ORCID: <https://orcid.org/0009-0009-0665-8405>

Article info

Received
31.03.2025;

received
in revised form
03.07.2025;

accepted
18.07.2025

Key words:

collagen hydrolysate,
electrochemical
hydrolysis,
fish waste processing,
Atlantic herring,
herring ambassador

Abstract

Skin hydrolysis products – waste from the production of preserves from salted herring – have a high potential for use in the food industry and in agriculture as additives that increase the nutritional value of food and feed. The work contains a comparative study of the properties of hydrolysates from the skin of salted and fresh-frozen Atlantic herring. Hydrolysis of the raw material has been carried out in a catholyte medium obtained as a result of water electrolysis. The degree of hydrolysis of the hydrolysate from the skin of fresh-frozen herring is 38.7 ± 0.1 %, from the skin of salted herring – 52.2 ± 0.2 %. The hydrolysate from the skin of fresh-frozen herring has shown greater foaming capacity than the hydrolysate from the skin of salted herring, 233 ± 3 and 167 ± 3 %, respectively. However, the salted herring skin hydrolysate has formed foam and fat emulsion that are more stable during storage, which makes it possible to recommend it for use in emulsion food products. Amino acids have been found in both hydrolysates: proline, glycine, alanine and glutamic acid. The collagen content in the salted and fresh-frozen herring skin hydrolysates is calculated to be 25.1 ± 0.5 and 18.7 ± 0.4 mg/ml, respectively, and it allows us to recommend the hydrolysates obtained by the proposed method as additives that increase the nutritional value of food and feed products.

For citation

Rudova, E. A. et al. 2025. The effect of salting herring on the physicochemical and functional properties of collagen hydrolysates obtained from its skin. *Vestnik of MSTU*, 28(3), pp. 348–359. (In Russ.) DOI: <https://doi.org/10.21443/1560-9278-2025-28-3-348-359>.

Введение

В условиях санкций обеспечение населения РФ продуктами питания собственного производства становится особенно актуальным. Несмотря на то что масштабное производство продуктов питания в крупных городах России было развито уже в XIX в. (Виноходов, 2025) в 90-х годах XX в. из-за развала СССР многие из них были утрачены, в том числе и рыбоперерабатывающие предприятия, поэтому модернизация и обеспечение безотходного цикла производства на них весьма насущны. На территории РФ у потребителей пользуются спросом пресервы из сельди соленой (Дементьева и др., 2015). При их производстве на рыбоперерабатывающих предприятиях образуются отходы, из которых около 10 % приходится на кожу (Салтанова и др., 2011; Левковская, 2021).

Одним из вариантов решения проблемы утилизации кожи сельди является ее переработка в белковый гидролизат (Байдалинова и др., 2018). Преимуществом данного решения является возможность дальнейшего использования гидролизата в пищевой промышленности или сельском хозяйстве для увеличения пищевой ценности продуктов питания и кормов (Цибизова, 2010; Бодрякова и др., 2022; Мезенова и др., 2015). Это становится возможным благодаря высокому содержанию белков в коже сельди, которое колеблется от 14,0 до 20,5 % (Петров и др., 2012). Большая часть белков кожи сельди приходится на коллаген (Красакова и др., 2018), богатый пролином, глицином, аланином, глутаминовой и аспарагиновой кислотами, а также содержащий ценные незаменимые аминокислоты: валин, лизин и лейцин (Антипова и др., 2019). Достоинством переработки кожи сельди гидролизом является переход биологически активных веществ в форму, которая легко усваивается организмом (Цибизова, 2010).

Существуют различные способы гидролиза коллагенсодержащего сырья: ферментативный (Ярочкин и др., 2012), щелочной (Кременевская и др., 2023), кислотный (Тихонова и др., 2009), экстракционный (Петров и др., 2012), электрохимический. Последний способ предполагает взаимодействие сырья с водными растворами электролитов (католитов), полученных в результате электролиза воды в условиях постоянного электрического поля (Куприна, 2007). Особенности католитов является присутствие в них не только гидроксил ионов, но и восстановительного потенциала, влияющего особым образом на гидролиз тканей.

Электрохимический метод, в отличие от других, не предусматривает использование агрессивных химических реагентов, действует мягко и позволяет избежать потерь биологически активных веществ, в том числе аминокислот (Кириллов, 2016). Поэтому именно электрохимическому гидролизу и отдано предпочтение в данной работе.

Свойства получаемого белкового гидролизата зависят от различных факторов, в том числе от качества кожи. Поэтому актуальным вопросом является изучение влияния на свойства гидролизатов такого фактора, как посол сельди.

Между рыбой и рассолом осуществляется взаимный диффузионно-осмотический перенос влаги и соли (Димова и др., 2006). Также посол сопровождается сложными биохимическими превращениями, в ходе которых происходит изменение природной структуры белков, жиров и экстрактивных веществ, а также их расщепление (Цибизова, 2010; Альшевская и др., 2021).

Научной новизной работы является исследование физико-химических и функциональных характеристик гидролизатов, полученных из отхода производства – кожи сельди атлантической, с использованием католита.

Цель работы – сравнительное исследование свойств гидролизатов из кожи сельди свежемороженой и соленой, полученных с использованием католитов. Для достижения данной цели ставились задачи: изучить кинетику процесса получения католитов, наработать гидролизаты из кожи сельди свежемороженой и соленой, исследовать их физико-химические и функциональные свойства.

Материалы и методы

Сельдь свежеморожена произведена компанией "Любо". Рыба была добыта на Фарерских островах в ноябре 2024 г. В 100 г продукта содержится $17,96 \pm 0,05$ г белка и $9,04 \pm 0,11$ г жира. Сельдь изготовлена по требованиям ЕАЭС, номер сертификата N RU Д-РУ.РА01.В.02829/25¹.

Сельдь слабосоленая произведена компанией ООО "Лакифиш". Рыба выловлена в Атлантическом океане в сентябре 2024 г. В 100 г продукта содержится $20,71 \pm 0,06$ г белка и $14,22 \pm 0,13$ г жира. Продукт изготовлен по техническим условиям СТО 34313236-007-2024².

Лабораторный электролизер состоит из сульфокатионнообменной мембраны, стального анода и катода из платинированного титана.

¹ URL: <https://spb.dikoed.ru/upload/uf/af8/7pyqrx1rm706wxujkgcp2xgqz1lpfftr.pdf>.

² URL: <https://ikra.market/ryba-kopchyonaya-slaboy-soli/tproduct/392623010682-seld-nerazdelannaya-slaboi-soli>.

Кожу сельди различных способов обработки – сельди атлантической свежемороженой и слабосоленой – получали путем обесшкуривания целой рыбы, далее кожу измельчали до размера частиц не более 10^{-3} м.

Определение содержания хлорида натрия, влаги, белковых соединений и липидов в коже проводили по ГОСТ 7636-85³.

Катодит для гидролиза кожи получали согласно последовательности действий:

1. Подготовлены $1,0 \pm 0,1$ % растворы электролитов: NaCl и Na₂SO₄.

2. В электролизер введены электролиты из п.1: в катодную камеру – раствор NaCl, в анодную – Na₂SO₄. Электролиз растворов проводили при постоянных значениях напряжения и силы тока. Напряжение поддерживали на уровне $14,0 \pm 0,1$ В. Для изучения кинетики электролиза определяли глубину протекания процессов, с заданной периодичностью осуществляли отбор проб из катодной камеры, измеряя их окислительно-восстановительный и водородный потенциалы с использованием рН-метра-милливольтметра модели рН-150МИ. Электролиз завершали по достижении $\text{pH} \geq 12,0 \pm 0,2$.

Гидролиз кожи сельди осуществляли по методике:

1. В емкость из термостойкого стекла помещали измельченную кожу и раствор католита в пропорции 1 : 5 (таким образом, гидролизат получаемого гидролизата 1 : 5). На водяной бане суспензию нагревали до 90 ± 5 °С. При этой температуре смесь выдерживали в течение 60 ± 5 мин, затем охлаждали до комнатной температуры.

2. Для удаления нерастворившейся в католите фракции суспензию центрифугировали в течение 30–35 мин при скорости вращения ротора $\geq 3\,000$ об/мин.

3. Затем при помощи хладагентов температуру осветленного раствора снижали до 1–2 °С. При такой температуре жир застывал, в то время как гидролизат сохранял жидкое состояние.

4. Далее жировую фракцию отделяли от гидролизата декантацией.

После проведения гидролиза кожи сельди определяли массы полученных фракций.

Перед исследованием свойств гидролизатов их нейтрализовали 15 % HCl до $\text{pH} 7,0 \pm 0,2$.

Определение жироземлюющей способности проводили в соответствии с модифицированной методикой: равные объемы по $25,0 \pm 0,5$ мл нейтрализованного гидролизата и дезодорированного подсолнечного масла смешивали в блендере в течение 5 мин для получения однородной эмульсии. В мерном цилиндре в течение суток при температуре 20–25 °С отстаивали полученную смесь. После отстаивания измеряли два показателя: объем масла, которое образовало эмульсию, и объем масла, которое не вошло в состав эмульсии. Жироземлюющую способность, выраженную в процентах, рассчитывали как отношение объема эмульгированного масла к общему объему использованного масла⁴.

Для определения пенообразующей способности использовали модифицированную методику: брали $25,0 \pm 0,5$ мл нейтрализованного гидролизата и взбивали его в блендере в течение 120–130 с. После этого измеряли, во сколько раз увеличился объем после взбивания по сравнению с изначальным объемом⁵.

Для оценки устойчивости пены вычисляли отношение объема пены через 30–35 мин после взбивания к объему пены сразу после взбивания.

Содержание аминокислот, входящих в состав белковых гидролизатов, исследовалось методами бумажной хроматографии в соответствии с методическими указаниями "Определение белков и аминокислот в микробной биомассе"⁶.

Массовая доля пролина оценивалась с помощью методики определения количества аминокислот хроматографическим методом, изложенным в методических указаниях "Определение белков и аминокислот в микробной биомассе"⁷.

Определение содержания аминного азота в коже свежемороженой и соленой сельди осуществляли методом формольного титрования водных вытяжек из нее в соответствии с методикой пособия "Методы исследования рыбы и рыбных продуктов"⁸.

³ ГОСТ 7636-85. Межгосударственный стандарт. Рыба, морские млекопитающие, морские беспозвоночные и продукты их переработки. Методы анализа. URL: <https://internet-law.ru/gosts/gost/12596/>.

⁴ Нестеренко А. А., Кений Н. В. Технологическая химия и физика мяса и мясных продуктов. Лабораторный практикум. Краснодар: КубГАУ, 2020. 161 с.

⁵ Луценко Н. Г. Практикум по технологии косметических средств. Биологически активные вещества в косметике. М. : Школа косметических химиков, 2004. 160 с.

⁶ Шмелева В. Г. Определение белков и аминокислот в микробной биомассе: метод. указания к лабораторным работам // Санкт-Петербург, 2006. 15 с.

⁷ Там же.

⁸ Волченко В. И., Николаенко О. А., Шокина Ю. В. Методы исследования рыбы и рыбных продуктов : учеб. пособие для вузов. СПб. : Лань, 2024. 148 с.

Массовую долю аминного азота в процентах N_{ao} для кожи сельди вычисляли по формуле (1)

$$N_{ao} = \frac{V_1 \times K \times 0,0014 \times V_2 \times V_4 \times 100}{m \times V_3 \times V_5}, \quad (1)$$

где V_1 – объем раствора гидроксида натрия с концентрацией 0,1 моль/дм³, израсходованный на титрование исследуемого образца, см³; V_2 – объем водной вытяжки в мерной колбе, см³; V_3 – объем водной вытяжки, взятый для осаждения белков, см³; V_4 – объем водной вытяжки, взятый для осаждения белков с учетом объема трихлоруксусной кислоты, см³; V_5 – объем фильтрата, взятого на титрование, см³; K – коэффициент пересчета на точный раствор гидроксида натрия с концентрацией 0,1 моль/дм³; m – навеска исследуемого образца, г.

Определение содержания аминного азота в гидролизатах осуществлялось методом формольного титрования⁹.

Массовую долю аминного азота в процентах N_a для гидролизатов вычисляли по формуле (2)

$$N_a = \frac{(V - V_1) \times K \times 0,28 \times 100}{m \times 1000}, \quad (2)$$

где V – объем раствора гидроксида натрия с концентрацией 0,02 моль/дм³, израсходованный на титрование исследуемого образца, см³; V_1 – объем раствора гидроксида натрия с концентрацией 0,02 моль/дм³, израсходованный на титрование контрольного образца, см³; K – коэффициент пересчета на точный раствор гидроксида натрия с концентрацией 0,02 моль/дм³; 0,28 – количество аминного азота, соответствующее 1 см³ раствора гидроксида натрия с концентрацией 0,02 моль/дм³; 1 000 – коэффициент пересчета мг в г; m – навеска жидкого исследуемого образца, г.

Для определения степени гидролиза использовали формулу (3)

$$NA = \frac{N_a \cdot L - N_{ao}}{N_o - N_{ao}} \times 100, \quad (3)$$

где NA – степень гидролиза, %; N_o – величина общего азота в сырье; N_a – величина аминного азота в гидролизате; N_{ao} – величина аминного азота в сырье до гидролиза; L – коэффициент, характеризующий разбавление исходного сырья.

Результаты и обсуждение

В табл. 1 представлены результаты исследований влияния посола на состав кожи сельди атлантической.

Таблица 1. Состав кожи атлантической сельди соленой и свежемороженой
Table 1. The composition of skin of Atlantic herring salted and freshly frozen

Анализируемое вещество	Содержание анализируемого вещества, %	
	Кожа сельди соленой	Кожа сельди свежемороженой
Хлорид натрия	3,8 ± 0,2	0,6 ± 0,1
Водная фракция	49,4 ± 0,3	52,5 ± 0,3
Жировая фракция	24,1 ± 0,2	26,0 ± 0,4
Белковые вещества	16,3 ± 0,1	18,2 ± 0,2
Аминный азот	0,16 ± 0,01	0,12 ± 0,01

Из данных табл. 1 следует, что в результате посола уменьшилось содержание влаги, жира и белковых веществ в коже, что может быть обусловлено, с одной стороны, диффузией хлорида натрия в мышечную ткань, а, с другой стороны, потерей влаги (Левковская, 2021).

Гидролиз кожи проводился в среде католита. Кинетические зависимости значений pH и Eh католита от времени проведения электролиза представлены на рис. 1 и 2. Из данных кинетических кривых следует, что требуемые значения pH 12,1 ± 0,2 и Eh 755 ± 10 мВ были достигнуты за 15 мин электролиза. В работе (Кириллов, 2016) установлено, что наиболее эффективно гидролиз коллагенсодержащего сырья реализуется при указанных физико-химических характеристиках католита.

По предложенной методике из кожи сельди свежемороженой и кожи сельди соленой были получены два гидролизата по 300,0 ± 0,5 мл каждый. Гидролизаты – суспензии с небольшим количеством примесей – разделены на составляющие: жир, нерастворимый остаток и гидролизат. Выходы фракций представлены в табл. 2.

⁹ Волченко В. И., Николаенко О. А., Шокина Ю. В. Методы исследования рыбы и рыбных продуктов : учеб. пособие для вузов. СПб. : Лань, 2024. 148 с.

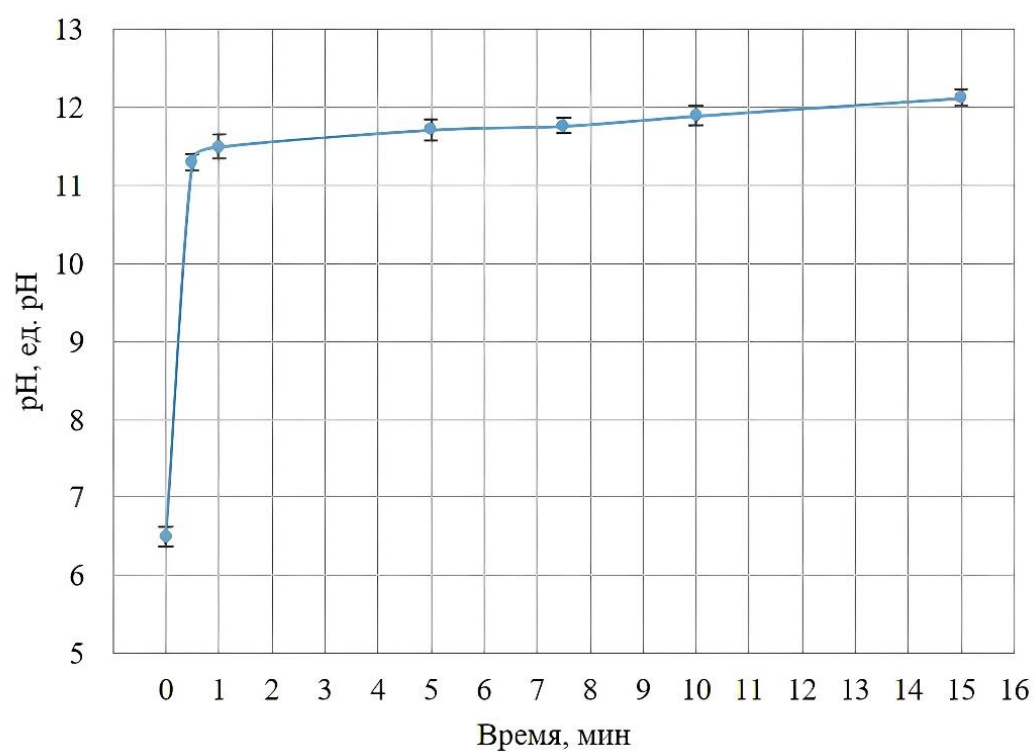


Рис. 1. Зависимость водородного потенциала католита от времени электролиза
Fig. 1. Dependence of the hydrogen potential of the catholyte on the electrolysis time

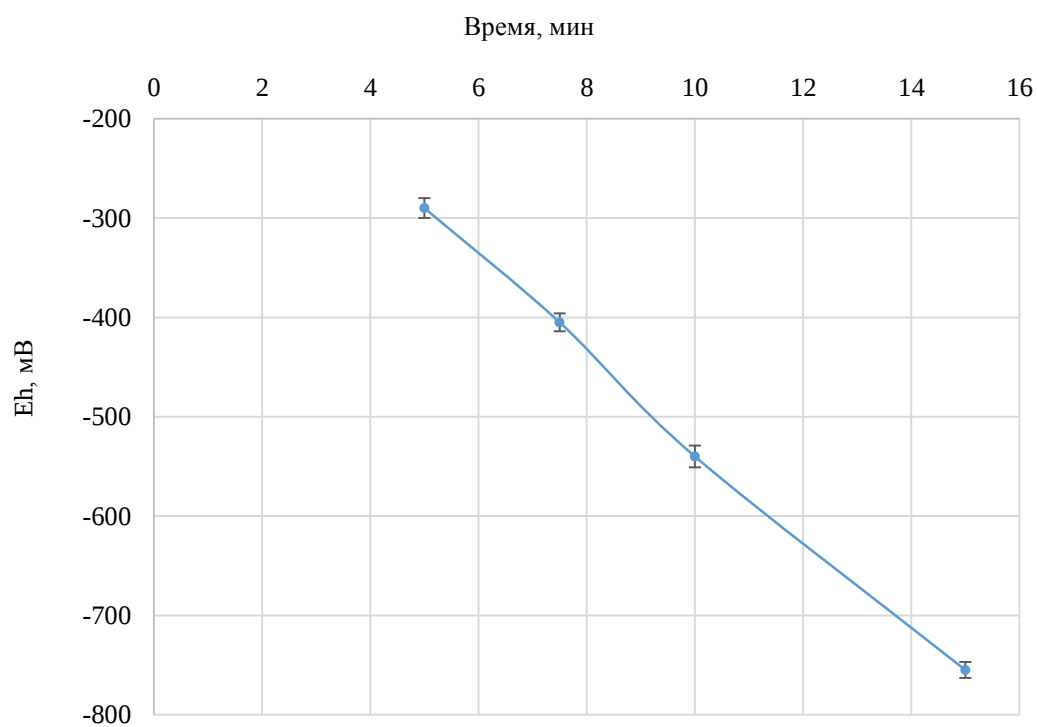


Рис. 2. Зависимость окислительно-восстановительного потенциала католита от времени электролиза
Fig. 2. Dependence of the redox potential of the electrolyte on the electrolysis time

Таблица 2. Выходы фракций нутриентов кожи после гидролиза
Table 2. Yields of skin nutrient fractions after hydrolysis

Фракция	Содержание фракции, %	
	Образец гидролизата кожи сельди свежемороженой	Образец гидролизата кожи сельди соленой
Гидролизат	86,9 ± 2,0	88,1 ± 2,2
Жир	11,1 ± 0,2	7,4 ± 0,1
Нерастворимый остаток	1,6 ± 0,3	1,2 ± 0,1

Из данных табл. 2 следует, что посол приводит к снижению содержания жировой фракции в гидролизатах.

Результаты исследования функциональных свойств (жироэмульгирующей и пенообразующей способности) полученных гидролизатов представлены в табл. 3.

Таблица 3. Функциональные свойства гидролизатов из кожи сельди разных способов обработки
Table 3. Functional properties of hydrolysates of herring skin obtained by different processing methods

Сырье, из которого получен гидролизат	Функциональные свойства гидролизата		
	Жироэмульгирующая способность, %	Пенообразующая способность, %	Устойчивость пены, %
Кожа сельди свежемороженой	100 ± 1	233 ± 3	86 ± 1
Кожа сельди соленой	99 ± 1	167 ± 3	95 ± 2

Жироэмульгирующие способности гидролизатов, полученных из кожи сельди свежемороженой и соленой, существенно не отличаются друг от друга (табл. 3), так же и не отличается внешний вид эмульсий (рис. 3). Для определения стабильности эмульсий их отстаивали при температуре 20–25 °С в течение семи дней. Было обнаружено, что образец с гидролизатом из кожи сельди соленой сохранял более однородную структуру (рис. 4).



Рис. 3. Эмульсии гидролизатов с растительным маслом: а – из свежемороженой кожи, б – из соленой кожи
Fig. 3. Emulsions of hydrolysates with vegetable oil: а – from freshly frozen skin, б – from salted skin

Из представленных данных можно сделать вывод, что гидролизат из кожи сельди свежемороженой обладает более высокой способностью к пенообразованию, однако пены и эмульсии, полученные с использованием гидролизата из кожи сельди соленой, оказываются более устойчивыми и стабильными.



Рис. 4. Эмульсии после отстаивания в течение 7 дней: *а* – свежемороженой кожа, *б* – соленая кожа
Fig. 4. Emulsions after settling for 7 days: *a* – freshly frozen skin, *b* – salted skin

Для оценки аминокислотного состава белковых гидролизатов из кожи сельди свежемороженой и соленой осуществлена их хроматография на бумаге. Было проведено 2 хроматографических анализа.

В результате рассчитаны факторы разделения (R_f) аминокислот-свидетелей и аминокислот белковых гидролизатов – табл. 4 и 5.

Таблица 4. Факторы разделения аминокислот белковых гидролизатов из кожи сельди, определенные по хроматограммам на бумажных дисках

Table 4. Amino acid separation factors of protein hydrolysates from herring skin determined by chromatograms on paper discs

Анализируемая аминокислота	Значение фактора разделения R_f	
	Хроматограмма с исследуемым раствором – гидролизатом из кожи сельди свежемороженой	Хроматограмма с исследуемым раствором – гидролизатом из кожи сельди соленой
Аминокислота-свидетель глицин	0,63	0,53
Аминокислота-свидетель аланин	0,80	0,77
Исследуемый раствор, первая аминокислота	0,56	0,57
Исследуемый раствор, вторая аминокислота	0,73	0,84

Таблица 5. Факторы разделения аминокислот белковых гидролизатов из кожи сельди, определенные по хроматограмме на бумаге

Table 5. Amino acid separation factors of protein hydrolysates from herring skin determined by chromatogram on paper

Значение фактора разделения R_f					
Аминокислоты-свидетели		Аминокислоты исследуемого гидролизата из кожи сельди свежемороженой		Аминокислоты исследуемого гидролизата из кожи сельди соленой	
Лизин	0,22	Первая аминокислота	0,18	Первая аминокислота	0,18

Аспарагиновая кислота	0,32	Вторая аминокислота	0,28	Вторая аминокислота	0,28
Глутаминовая кислота	0,39	Третья аминокислота	0,39	Третья аминокислота	0,40
Пролин	0,46	Четвертая аминокислота	0,46	Четвертая аминокислота	0,49

Из данных табл. 4 и 5 следует, что в гидролизатах из кожи соленой и свежемороженой сельди присутствуют ценные аминокислоты: глицин, аланин, пролин и глутаминовая кислота. Учитывая, что пролин является специфической аминокислотой для коллагена (Антипова и др., 2015; Болгова, 2015), с целью определения содержания коллагена в исследуемых гидролизатах проведено количественное определение пролина с помощью бумажной хроматографии. Для этого построен калибровочный график при различных концентрациях пролина, приведенный на рис. 5.

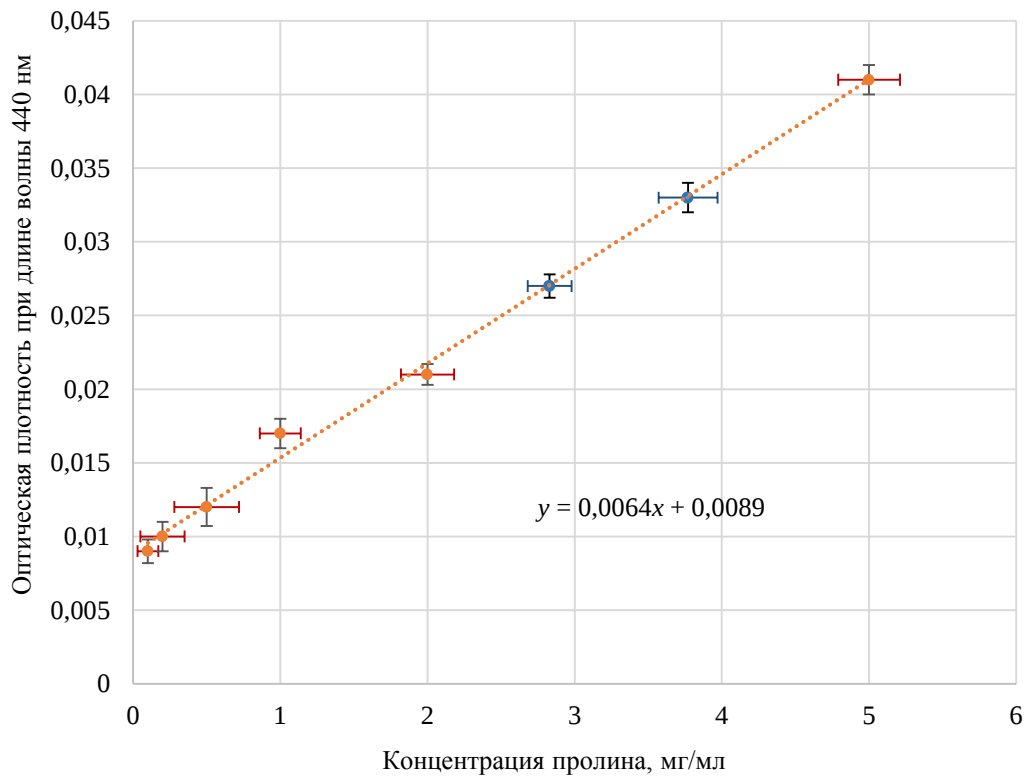


Рис. 5. Калибровочный график зависимости оптической плотности от различных концентраций пролина.

Оранжевые точки – калибровочный график. Синие точки – исследуемый гидролизат
Fig. 5. Calibration graph of optical density dependence on different concentrations of proline.
The orange dots are a calibration graph. The blue dots are the hydrolysate under study

По калибровочному графику было определено, что в гидролизате из кожи сельди свежемороженой содержится $3,77 \pm 0,20$ мг/мл пролина, а в гидролизате из кожи сельди соленой – $2,83 \pm 0,15$ мг/мл пролина. Так как коллаген по литературным данным содержит около 15 % пролина в своем составе (Krane, 2008), установлено, что содержание коллагена в гидролизате из кожи свежемороженой сельди составило $25,1 \pm 0,5$ мг/мл, а в гидролизате из кожи соленой сельди – $18,7 \pm 0,4$ мг/мл.

Для оценки степени гидролиза были определены массовые доли аминного азота в исследуемых гидролизатах (табл. 6).

Таблица 6. Массовая доля аминного азота в исходном сырье и в коллагеновых гидролизатах
Table 6. Mass fraction of amino nitrogen in the raw material and in collagen hydrolysates

Анализируемое сырье	Массовая доля аминного азота, %	
	Сельдь свежемороженая	Сельдь соленая
Кожа	$0,12 \pm 0,01$	$0,16 \pm 0,01$
Гидролизат	$0,20 \pm 0,01$	$0,24 \pm 0,01$

Из данных табл. 6 следует, что в результате гидролиза с использованием католита содержание аминного азота в образцах (с учетом разбавления исходного сырья в 6 раз) увеличилось в 9–10 раз. Степень гидролиза, рассчитанная по формуле 3, составила для гидролизата из кожи сельди свежемороженой $38,7 \pm 0,1$ %, для гидролизата из кожи сельди соленой – $52,2 \pm 0,2$ %. При этом степень растворения коллагена близка к 99 % (табл. 2).

Заключение

В рамках исследования проанализирован состав кожи сельди соленой и свежемороженой. Установлено, что в результате посола в коже увеличилось содержание хлорида натрия в 6 раз и составило 3,8 %, при этом содержание водной, жировой фракций и белковых веществ снизилось на 3,1; 1,9 и 2,1 % соответственно, что обусловлено диффузией последних в тузлук.

Изучена кинетика изменения pH и Eh католита в процессе его наработки, показано, что требуемые значения pH $12,1 \pm 0,2$ и Eh 755 ± 10 мВ были достигнуты за 15 мин электролиза.

Установлено, что гидролизат из кожи сельди свежемороженой имел большую пенообразующую способность, чем гидролизат из кожи сельди соленой, 233 ± 3 и 167 ± 3 % соответственно. Однако гидролизат из кожи сельди соленой образовывал более стабильные пену и эмульсию, устойчивость пены гидролизата из кожи сельди свежемороженой составила 86 ± 1 %, гидролизата из кожи сельди соленой – 95 ± 1 %. Большая устойчивость пены и жировой эмульсии, полученных с использованием гидролизата из кожи сельди соленой, вероятно, обусловлена влиянием соли на стабильность систем. Таким образом, гидролизат из кожи сельди соленой можно рекомендовать для использования в производстве эмульсионных продуктов.

В обоих гидролизатах при помощи метода хроматографии на бумаге были обнаружены такие аминокислоты, как пролин, глицин, аланин и глутаминовая кислота. По содержанию пролина в гидролизатах из кожи сельди соленой ($2,83 \pm 0,15$ мг/мл) и свежемороженой ($3,77 \pm 0,20$ мг/мл) рассчитано содержание коллагена в гидролизатах – $25,1 \pm 0,5$ и $18,7 \pm 0,4$ мг/мл соответственно, что свидетельствует о наличии пищевой ценности полученных гидролизатов.

Методом формольного титрования были определены массовые доли аминного азота в исходном сырье и полученных гидролизатах, выявлено, что в результате гидролиза с использованием католита содержание аминного азота в образцах увеличилось в 9–10 раз. Степень гидролиза в гидролизате из кожи сельди свежемороженой составила $38,7 \pm 0,1$ %, в гидролизате из кожи сельди соленой – $52,2 \pm 0,2$ %, что, вероятно, обусловлено ферментативным гидролизом, происходящим при посоле под действием катепсинов рыбы (Ахмедова и др., 2016).

Таким образом, установлено, что изменения в составе кожи сельди после посола привели к снижению пенообразующей способности гидролизатов из кожи, однако обеспечили повышение устойчивости пен и эмульсий, а также привели к снижению общего содержания белков в гидролизатах и повышению их степени гидролиза.

Коллагеновые гидролизаты из вторичных сырьевых ресурсов, содержащие большое количество пептидов и аминокислот, перспективны для использования в различных сферах пищевой промышленности и сельском хозяйстве. Однако для конкретной области применения необходимо учитывать фактор влияния способа обработки исходного сырья на свойства конечного продукта.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Библиографический список

- Альшевская М. Н., Анистратова О. В. Обоснование способа посола сельди атлантической в условиях малых производств // Вестник Камчатского государственного технического университета. 2021. № 55. С. 6–16. DOI: <https://doi.org/10.17217/2079-0333-2021-55-6-16>. EDN: PTIQRK.
- Антипова Л. В., Сторублевцев С. А., Антипов С. Коллагены: источники, свойства, применение. СПб : ГИОРД, 2019. 402 с. EDN: HMDFAN.
- Антипова Л. В., Сторублевцев С. А., Болгова С. Б. Создание коллагеновых продуктов из рыбного сырья // Вестник Воронежского государственного университета инженерных технологий. 2015. № 1(63). С. 130–133. EDN: TTUFGP.
- Ахмедова Т. П., Петрова Л. А. Формирование потребительских свойств малосоленой сельди // Образование и наука без границ: фундаментальные и прикладные исследования. 2016. № 2. С. 56–60. EDN: WMEBRD.
- Байдалинова Л. С., Ляпустина Е. Е. Выделение натуральных структурообразователей белковой природы из коллагенсодержащего вторичного рыбного сырья // Известия КГТУ. 2018. № 51. С. 30–46. EDN: YLWODB.

- Бодрякова Н. П., Есепенок К. В., Двинских Н. А. Экологические аспекты утилизации отходов рыбной промышленности // Актуальные вопросы зоологии, экологии и охраны природы : материалы национальной науч.-практ. конф., посвященной 90-летию организации кафедры зоологии, экологии и охраны природы им. А. Г. Банникова МГАВМИБ-МБА им. К. И. Скрябина, Москва, 6 декабря 2021 г. М., 2022. С. 29–35. EDN: CLEABX.
- Болгова С. Б. Рыбные коллагены: получение, свойства и применение : дис. ... канд. тех. наук. Воронеж, 2015. 159 с.
- Виноходов Д. О. Технологический институт и становление биотехнологии в России // Российский биотехнологический журнал. 2025. № 1. DOI: <https://doi.org/10.36807/3034-6738-2025-01-03-06>.
- Дементьева Н. В., Ильиных А. С. Аналитические исследования современных технологий производства рыбных пресервов // Научные труды Дальрыбвтуза. 2015. Т. 35. С. 125–130. EDN: UICPXV.
- Димова В. В., Ершов А. М., Гроховский В. А., Ершов М. А. Теоретические основы процесса посола рыбы и расчет продолжительности просаливания // Вестник МГТУ. 2006. Т. 9, № 5. С. 858–866. EDN: ICJWQR.
- Донскова Л. А., Брашко И. С. Разработка технологии коллагенсодержащей пищевой добавки для применения в мясных системах // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Сер. Пищевые и биотехнологии. 2024. Т. 12, № 4. С. 13–21. DOI: <https://doi.org/10.14529/food240402>. EDN: XCLTYU.
- Зарубин Н. Ю. Разработка технологии продукта с использованием композиции на основе коллагенового гидролизата из кожи рыб и растительных компонентов : дис. ... канд. тех. наук. М., 2018. 193 с.
- Кириллов А. И. Технология безотходной переработки коллагенсодержащих отходов от разделки гидробионтов : дис. ... канд. тех. наук. СПб., 2016. 109 с.
- Красакова Т. В., Рулева Т. Н. Разработка научно-практической основы технологической переработки субпродуктов рыб Балтийского бассейна. Часть 1. Групповая классификация, особенности технохимического состава и ключевые показатели пищевой ценности субпродуктов // Труды АтлантНИРО. 2018. Т. 2, № 2. С. 151–174.
- Кременевская М. И., Варик В. С., Соснина О. А., Кудинов Р. Е. Методика сохранения биологически активных веществ при обработке многокомпонентного побочного рыбного сырья // Научный журнал НИУ ИТМО. Сер. Процессы и аппараты пищевых производств. 2023. № 2(56). С. 50–60. DOI: <https://doi.org/10.17586/2310-1164-2023-16-2-50-60>. EDN: XBWZOR.
- Куприна Е. Э. Научные основы технологии переработки белок- и хитинсодержащего сырья электрохимическим способом : автореф. дис. ... д-ра техн. наук. СПб., 2007. 40 с.
- Левковская Е. В. Влияние посола на свойства мяса при производстве деликатесных продуктов // Наука и образование в наши дни: фундаментальные и прикладные исследования: материалы XLIII Всерос. науч.-практ. конф., г. Ростов-на-Дону, 23 декабря 2021 г. : в 2-х ч. Ч. 1. Ростов-на-Дону, 2021. С. 386–387. EDN: UMOSCU.
- Мезенова О. Я., Байдалинова Л. С., Землякова Е. С. [и др.]. Вторичное рыбное сырье: состав, свойства, биотехнологии переработки. Калининград : КГТУ, 2015. 317 с.
- Петрова И. Б., Клименко А. И. Комплексная переработка отходов рыбоперерабатывающих производств: обзор // Молодой ученый. 2012. № 9(44). С. 61–63. EDN: PFVJSB. URL: <https://moluch.ru/archive/44/5355/>.
- Салтанова Н. С., Попова О. О. Использование коллагенсодержащих отходов сельди для приготовления соусов и заливок // Вестник Камчатского государственного технического университета. 2011. № 15. С. 62–65. EDN: NEFROB.
- Тихонова Ю. В., Кривоносова Л. Г., Ломакин С. П., Филатова Э. С. [и др.]. Свойства продуктов гидролиза коллагена // Башкирский химический журнал. 2009. Т. 16, № 1. С. 13–15. EDN: KTWCHJ.
- Цибизова М. Е. Маломерное рыбное сырье и отходы от разделки промысловых рыб – потенциальное сырье для получения функционально значимых компонентов пищи // Вестник Астраханского государственного технического университета. Сер. Рыбное хозяйство. 2010. № 2. С. 130–137. EDN: MVOOML.
- Ярочкин А. П., Помоз А. С. Исследование основных процессов производства ферментированных кормовых продуктов из отходов рыбопереработки // Известия ТИНРО. 2012. Т. 168. С. 288–300. EDN: OZKOAL.
- Krane S. M. The importance of proline residues in the structure, stability and susceptibility to proteolytic degradation of collagens // Amino acids. 2008. Vol. 35, Iss. 4. P. 703–710. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00726-008-0073-2>.

References

- Alshevskaya, M. N., Anistratova, O. V. 2021. Justification of the method for salting Atlantic herring in small-scale production conditions. *Bulletin of Kamchatka State Technical University*, 55, pp. 6–16. DOI: <https://doi.org/10.17217/2079-0333-2021-55-6-16>. EDN: PTIQRK. (In Russ.)
- Antipova, L. V., Storublevtsev, S. A., Antipov, S. 2019. Collagens: Sources, properties, application. St. Petersburg. EDN: HMDFAN. (In Russ.)

- Antipova, L. V., Storublevtsev, S. A., Bolgova, S. B. 2015. Creation of collagen products from fish raw materials. *Proceedings of the Voronezh State University of Engineering Technologies*, 1(63), pp. 130–133. EDN: TTUFGP. (In Russ.)
- Akhmedova, T. P., Petrova, L. A. 2016. Formation of consumer properties of lightly salted herring. *Education and Science without Borders: Fundamental and Applied Research*, 2, pp. 56–60. EDN: WMEBRD. (In Russ.)
- Baidalinova, L. S., Lyapustina, E. E. 2018. Isolation of natural structure-forming agents of protein nature from collagen-containing secondary fish raw materials. *KSTU NEWS*, 51, pp. 30–46. EDN: YLWODB. (In Russ.)
- Bodryakova, N. P., Esepenok, K. V., Dvinskikh, N. A. 2022. Environmental aspects of fish industry waste utilization. Proceedings of national conf. *Current Issues in Zoology, Ecology, and Nature Conservation*, Moscow, 6 December, 2021. Moscow, pp. 29–35. EDN: CLEABX. (In Russ.)
- Bolgova, S. B. 2015. Fish collagens: Production, properties, and application. Ph.D. Thesis. Voronezh. (In Russ.)
- Vinokhodov, D. O. 2025. Technological Institute and the formation of biotechnology in Russia. *Russian Journal of Biotechnology*, 1. DOI: <https://doi.org/10.36807/3034-6738-2025-01-03-06>. (In Russ.)
- Dementyeva, N. V., Ilyinykh, A. S. 2015. Analytical research on modern technologies for the production of fish preserves. *Scientific Journal of the Far East State Technical Fisheries University*, 35, pp. 125–130. EDN: UICPXV. (In Russ.)
- Dimova, V. V., Ershov, A. M., Grokhovsky, V. A., Ershov, M. A. 2006. Theoretical foundations of the fish salting process and calculation of salting duration. *Vestnik MGTU*, 9(5), pp. 858–866. EDN: ICJWQR. (In Russ.)
- Donskova, L. A., Brashko, I. S. 2024. Development of technology for a collagen-containing food additive for use in meat systems. *Bulletin of the South Ural State University. Series Food and Biotechnology*, 12(4), pp. 13–21. DOI: <https://doi.org/10.14529/food240402>. EDN: XCLTYT. (In Russ.)
- Zarubin, N. Y. 2018. Development of a technology for a product using a composition based on collagen hydrolyzate from fish skin and plant components. Ph.D. Thesis. Moscow. (In Russ.)
- Kirillov, A. I. 2016. Technology for waste-free processing of collagen-containing waste from the cutting of hydrobionts: Hydrolyzate from fish skin and plant components. Ph.D. Thesis. Saint Petersburg. (In Russ.)
- Krasakova, T. V., Ruleva, T. N. 2018. Development of a scientific and practical basis for the technological processing of fish by-products from the Baltic basin. Part 1. Group classification, peculiarities of the techno-chemical composition, and key indicators of nutritional value of by-products. *Proceedings of the Atlantic Research Institute of Fisheries and Oceanography*, 2(2), pp. 151–174. (In Russ.)
- Kremenevskaya, M. I., Varik, V. S., Sosnina, O. A., Kudinov, R. E. 2023. Method for preserving biologically active substances during processing of multicomponent by-product fish raw materials. *Processes and Food Production Equipment*, 2(56), pp. 50–60. DOI: <https://doi.org/10.17586/2310-1164-2023-16-2-50-60>. EDN: XBZWOR. (In Russ.)
- Kuprina, E. E. 2007. Scientific foundations of the technology for processing protein- and chitin-containing raw materials by electrochemical method. Abstract of Dr Sci. (Engineering) dissertation. St. Petersburg. (In Russ.)
- Levkovskaya, E. V. 2021. Influence of salting on the properties of meat in the production of delicacy products. Proceedings of scien.-pract. conf. *Science and Education in Our Days: Fundamental and Applied Research*, Rostov-on-Don, 23 December, 2021. In 2 parts. Part 1. Rostov-on-Don, pp. 386–387. EDN: UMOSCU. (In Russ.)
- Mezenova, O. Y., Baidalinova, L. S., Zemlyakova, E. S. et al. 2015. Secondary fish raw materials: Composition, properties, biotechnologies of processing. Kaliningrad. (In Russ.)
- Petrov, I. B., Klimenko, A. I. 2012. Comprehensive processing of waste from fish processing enterprises. *Young Scientist*, 9(44), pp. 61–63. EDN: PFVSJB. URL: <https://moluch.ru/archive/44/5355/>. (In Russ.)
- Saltanova, N. S., Popova, O. O. 2011. Use of collagen-containing herring waste for the preparation of sauces and dressings. *Bulletin of Kamchatka State Technical University*, 15, pp. 62–65. EDN: NEFROB. (In Russ.)
- Tikhonova, Y. V., Krivososova, L. G., Lomakin, S. P., Filatova, E. S. et al. 2009. Properties of collagen hydrolysis products. *Bashkir Chemical Journal*, 16(1), pp. 13–15. EDN: KTWCHJ. (In Russ.)
- Tsibizova, M. E. 2010. Small-scale fish raw materials and waste from cutting commercial fish as potential raw materials for obtaining functionally significant food components. *Vestnik of Astrakhan State Technical University. Series: Fishing Industry*, 2, pp. 130–137. EDN: MVOOML. (In Russ.)
- Yarochkin, A. P., Pomez, A. S. 2012. Study of the main processes in the production of fermented feed products from fish processing waste. *Izvestiya TINRO*, 168, pp. 288–300. EDN: OZKOAL. (In Russ.)
- Krane, S. M. 2008. The importance of proline residues in the structure, stability and susceptibility to proteolytic degradation of collagens. *Amino Acids*, 35(4), pp. 703–710. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00726-008-0073-2>.

Сведения об авторах

Рудова Екатерина Александровна – Московский пр., 24-26/49, литера А, г. Санкт-Петербург, Россия, 190013; Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический университет), студент; e-mail: czvetova123@mail.ru, ORCID: <https://orcid.org/0009-0009-0665-8405>

Ekaterina A. Rudova – 24-26/49, Letter A, Moskovsky Ave., Saint Petersburg, Russia, 190013; Saint Petersburg State Institute of Technology (Technical University), Student; e-mail: czvetova123@mail.ru, ORCID: <https://orcid.org/0009-0009-0665-8405>

Куприна Елена Эдуардовна – Московский пр., 24-26/49, литера А, г. Санкт-Петербург, Россия, 190013; Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический университет), д-р техн. наук, профессор; e-mail: elkuprina@yandex.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6002-0623>

Elena E. Kuprina – 24-26/49, Letter A, Moskovsky Ave., Saint Petersburg, Russia, 190013; Saint Petersburg State Institute of Technology (Technical University), Dr Sci. (Engineering), Professor; e-mail: elkuprina@yandex.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6002-0623>

Боброва Кристина Витальевна – Московский пр., 24-26/49, литера А, г. Санкт-Петербург, Россия, 190013; Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический университет), студент; e-mail: kristinabobrova2001@mail.ru

Kristina V. Bobrova – 24-26/49, Letter A, Moskovsky Ave., Saint Petersburg, Russia, 190013; Saint Petersburg State Institute of Technology (Technical University), Student; e-mail: kristinabobrova2001@mail.ru

УДК 664.6:637

Биотехнологические аспекты обогащения хлеба сывороточным белком для повышения его функциональных свойств

О. С. Чеченихина*, В. А. Лазарев

*Уральский государственный экономический университет, г. Екатеринбург, Россия;

e-mail: olgachech@yandex.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9011-089X>

Информация о статье Реферат

Поступила
в редакцию
28.05.2025;

получена
после доработки
02.06.2025;

принята
к публикации
02.07.2025

Ключевые слова:

хлебобулочные изделия,
сывороточный белок,
биотехнология
продуктов питания,
органолептические
свойства,
физико-химические
показатели

Для цитирования

Проблема белковой недостаточности в питании, особенно среди детей, и необходимость разработки продуктов с повышенной пищевой ценностью обусловили актуальность работы. Специалистами отмечается растущий спрос населения на функциональные продукты питания, способствующие укреплению здоровья. Проведено исследование по применению сывороточного белка животного происхождения для обогащения хлеба с целью повышения его функциональных свойств. Разработаны рецептуры хлеба с добавлением изолята сывороточного белка на основе муки высшего и первого сортов. Работа реализована в условиях лаборатории технотехнического контроля продуктов питания УрГЭУ (г. Екатеринбург). Проведен сравнительный анализ органолептических и физико-химических показателей опытных и контрольных образцов. Результаты показали, что образцы с сывороточным белком обладают улучшенными вкусовыми характеристиками (сладковатый привкус, сливочный аромат) и соответствуют требованиям нормативных документов по влажности и пористости. При этом добавление белка снижает кислотность хлеба, что делает его более безопасным для лиц с заболеваниями ЖКТ. Физико-химические исследования выявили, что сывороточный белок незначительно уменьшает пористость мякиша, но способствует его равномерной структуре, улучшая усвояемость. Наибольшую влажность (43,6 %) показал образец из муки первого сорта с добавлением белка, это положительно влияет на мягкость продукта. Обогащение хлеба сывороточным белком повышает массовую долю протеина до 13,5 % и улучшает аминокислотный профиль. Подтверждена перспективность использования сывороточного белка в хлебопечении для создания функциональных продуктов. В качестве дальнейших исследований предложено изучение комбинаций белка с пищевыми волокнами и применение технологии в других видах пищевой продукции.

Чеченихина О. С. и др. Биотехнологические аспекты обогащения хлеба сывороточным белком для повышения его функциональных свойств. Вестник МГТУ. 2025. Т. 28, № 3. С. 360–370. DOI: <https://doi.org/10.21443/1560-9278-2025-28-3-360-370>.

Biotechnological aspects of enriching bread with whey protein to enhance its functional properties

Olga S. Chechenikhina*, Vladimir A. Lazarev

*Ural State University of Economics, Yekaterinburg, Russia;

e-mail: olgachech@yandex.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9011-089X>

Article info

Received
28.05.2025;

received
in revised form
02.06.2025;

accepted
02.07.2025

Key words:

bakery products,
whey protein,
food biotechnology,
organoleptic properties,
physicochemical
parameters

Abstract

The problem of protein deficiency in nutrition, especially among children, and the need to develop products with increased nutritional value determine the relevance of the work. Experts note the growing demand of the population for functional food products that promote health. A study has been conducted on the use of whey protein of animal origin for bread enrichment in order to improve its functional properties. The study has developed bread recipes with the addition of whey protein isolate based on premium and first grade flour. The work was carried out in the laboratory of technochemical control of food products (Ural State University of Economics, Yekaterinburg). A comparative analysis of the organoleptic and physicochemical indicators of the experimental and control samples has been carried out. The results have shown that the samples with whey protein have improved taste characteristics (sweetish taste, creamy aroma) and meet the requirements of regulatory documents for moisture and porosity. At the same time, the addition of protein reduces the acidity of bread, which makes it safer for people with gastrointestinal diseases. Physicochemical studies have shown that whey protein slightly reduces the porosity of the crumb, but contributes to its uniform structure, improving digestibility. The highest moisture content (43.6 %) has been shown by a sample of first-grade flour with added protein, which has a positive effect on the softness of the product. Enrichment of bread with whey protein increases the mass fraction of protein to 13.5 % and improves the amino acid profile. The prospects of using whey protein in baking to create functional products have been confirmed. As further research, it is proposed to study combinations of protein with dietary fiber and apply the technology to other types of food products.

For citation

Chechenikhina, O. S. et al. 2025. Biotechnological aspects of enriching bread with whey protein to enhance its functional properties. *Vestnik of MSTU*, 28(3), pp. 360–370. (In Russ.) DOI: <https://doi.org/10.21443/1560-9278-2025-28-3-360-370>.

Введение

По данным Всемирной организации здравоохранения, 149 млн детей страдают задержкой роста. Одной из причин этого может являться белковая недостаточность. Белок в нашем организме выполняет следующие функции: энергетическая, каталитическая, защитная, транспортная, строительная, двигательная. Поэтому белок должен присутствовать в рационе питания человека ежедневно (*Мельникова и др., 2022; Бурак и др., 2024; Loprinzi et al., 2020; Delaby et al., 2020; Romano et al., 2022*).

По рекомендациям Роспотребнадзора, для мужчин количество поступающего белка не должно быть ниже 65 г, для женщин – 55 г, для детей – 36 г. Ежедневное поступление белка в достаточном количестве – залог сохранения здоровья и хорошего самочувствия в течение дня. Для этого следует включать в рацион полноценные полезные продукты питания.

Животные белки содержатся в продуктах животного происхождения: мясе, рыбе, морепродуктах, яйцах и молочных продуктах. В них полный набор незаменимых аминокислот, и такое вещество усваивается организмом на 95 %.

Растительные белки содержатся в продуктах растительного происхождения: бобовых, сое, орехах, крупах, овощах. В них, как правило, не хватает нескольких незаменимых аминокислот, и усваивается такой белок только на 65–80 %.

При составлении рациона важно сочетать разные типы белков, чтобы получить все необходимые аминокислоты. Классическая формула: растительные белки должны составлять не более трети от суточного количества протеинов, поступающих с пищей (*Иванчихина, 2023; Исычко и др., 2023*).

Истинный дефицит поступления белков с пищей может развиваться у лиц, длительное время недоедающих, придерживающихся так называемых монодиет или вегетарианства.

Вторичный дефицит белка, связанный с его усиленным распадом, может сопровождать целый ряд заболеваний, например, тяжелые формы инфекционных заболеваний, патологии почек, наследственные нарушения обмена веществ (*Зиямутдинова и др., 2024; Tofaris et al., 2002; Azoulay et al., 2019*).

Белки являются основным строительным материалом организма, поэтому даже легкие формы белковой недостаточности, внешне протекающие бессимптомно, влияют на способность противостоять инфекции или на скорость заживления ран, замедляют рост ногтей и волос, вызывают сухость кожи.

Тяжелая белковая недостаточность может нарушить нормальную работу всех органов и систем. Особенно опасен дефицит белка в детском возрасте, так как он способен повлиять на развитие умственных способностей, формирование мышц, замедлить рост и развитие организма (*Муханова, 2022*).

Белково-энергетическая недостаточность (БЭН) – это патологическое состояние, которое характеризуется дефицитом нутриентов, энергии и негативно влияет на работу всех систем организма.

Основные признаки БЭН: главное проявление – быстрая потеря массы больше 10 % от исходного значения; уменьшается толщина подкожно-жировой клетчатки, ребра и тазовые кости хорошо контурируются; постепенно происходит атрофия мышц; кожа становится бледной и холодной на ощупь, иногда появляются коричневые пигментные пятна; на поздней стадии формируются отеки; волосы ломкие и тусклые, наблюдается диффузная алопеция; нарастают слабость, апатия. Иногда вследствие упадка сил человек даже не может подняться с постели (*Фоменко, 2021*).

Некоторые заболевания и состояния, связанные с недостатком белка в организме человека:

- замедление роста и развития – особенно опасно в детском возрасте, так как влияет на умственное развитие, замедляет рост и нарушает формирование мышц;
- изменения в печени – также могут возникать у взрослых;
- ослабление умственной деятельности;
- снижение работоспособности и сопротивляемости к инфекционным заболеваниям;
- отеки – из-за снижения онкотического давления крови, создаваемого белками;
- ослабление иммунитета – раны долго не заживают, отмечаются частые инфекционные заболевания;
- анемия – также может появляться нарушение работы сердца и легких (сердцебиение становится слабым, дыхание поверхностным).

Среди причин белковой недостаточности – голодание, атрофические и воспалительные заболевания желудка и кишечника, инсульты, психические заболевания (в том числе анорексии). Также к белковой недостаточности приводит повышение потребности в белке для восполнения энергетических затрат и восстановления погибших клеток, нарушение синтеза белка. Особенно опасен дефицит белка в детском возрасте. Он влияет на умственное развитие, замедляет рост, нарушает формирование мышц (*Троцюк и др., 2020; Мударисов, 2021*).

Таким образом, недостаток белка в организме человека приводит к тяжелым последствиям. Данный вопрос требует постоянного контроля над рационом и грамотного выбора продуктов питания.

Традиционно наибольшую долю в производстве продуктов питания занимают хлеб и хлебобулочные изделия. По данным *Н. Н. Данько (2023)*, в России 10 тыс. хлебозаводов ежедневно изготавливают 50 тыс. т хлеба. Для сохранения здоровья населения перед специалистами стоит задача увеличения пищевой и биологической ценности продуктов питания.

Хлеб является полезной частью сбалансированного рациона, так как содержит углеводы, клетчатку, аминокислоты и др. При этом в хлебе невысокое содержание белков животного происхождения, в том числе незаменимых аминокислот. Следовательно, обогащение хлеба белком является актуальным направлением исследований.

Одним из главных вопросов, который стоит перед работниками пищевого производства, является обеспечение продуктов питания полноценным белком, обладающим высокими функциональными характеристиками и содержащим необходимые человеку незаменимые аминокислоты (*Мештель и др., 2022*).

Сывороточный белок характеризуется рядом преимуществ для здоровья. Во-первых, он ускоряет метаболизм и способствует снижению веса. Во-вторых, содержит незаменимые аминокислоты – лейцин, валин, изолейцин, необходимые для роста мышечной ткани. Регулярный прием сывороточного белка предотвращает потерю мышечной массы. В-третьих, повышает уровень глутатиона, природного антиоксиданта, защищающего организм от повреждений. Исследования показывают, что сывороточный белок может быть полезен в борьбе с онкологическими заболеваниями и диабетом второго типа. Кроме того, он снижает уровень "плохого" холестерина, укрепляет иммунитет, нормализует артериальное давление, повышает энергию и выносливость, облегчает восстановление после физических нагрузок. Сывороточный белок отличается высокой скоростью усвоения, что делает его ценным источником белка для организма (*Алиновская и др., 2022; Ивкова и др., 2022*).

Молочная сыворотка находит широкое применение в различных отраслях пищевой промышленности. Ее функциональные свойства, такие как улучшение взбиваемости и связывание жидкости, делают ее ценным ингредиентом. Кроме того, сыворотка может использоваться в качестве заменителя куриных белков и желтков, а также для обогащения состава молочных продуктов. Сфера применения молочной сыворотки охватывает кондитерское производство (изготовление различных изделий – печенье, вафли и пр.); производство цельномолочных продуктов (обогащение состава молока, творога, сгущенного молока и других продуктов); пивоварение (использование в качестве добавки); производство сыров (создание плавленых и глазированных сырков) (*Шерстнева, 2019*).

Учеными в ходе исследования были разработаны новые рецептуры сметаны с использованием концентрата сывороточных белков (КСБ-УФ). Применение КСБ-УФ в составе сметаны позволяет повысить ее биологическую ценность за счет увеличения содержания сывороточных белков, являющихся основным компонентом продукта. К ключевым результатам исследования относится определение оптимального содержания КСБ-УФ в составе сметаны с низким содержанием жира (10 %) на основе комплексного анализа органолептических и физико-химических показателей готового продукта. Авторы разъяснили механизм структурирования кисломолочных сгустков при присутствии сывороточных белков.

Исследования подтверждают, что белковый концентрат, эффективно удерживая воду, оказывает влияние на активность молочнокислых бактерий, что позволяет контролировать кислотность обезжиренной сметаны. Применение КСБ-УФ способствует формированию нежного и влажного сгустка, лишённого синерезиса. Для достижения уровня кислотности сквашенных сливок с концентратом сывороточных белков не менее 60 °С рекомендуется увеличить время сквашивания до 1,5 ч по сравнению со сквашиванием сливок без добавления концентрата (*Варивода, 2020*).

Также молочная сыворотка активно используется при производстве мясных продуктов. Например, натуральная молочная сыворотка используется вместо воды при производстве вареных колбас. Разработаны рецептуры и технологии для паштетов (содержащих 25 % молочного пищевого альбумина) и сосисок (с добавлением 5,5 % концентрата молочной сыворотки). Установлена целесообразность применения концентратов сывороточных белков в качестве замены сухого молока при изготовлении фаршевых мясных продуктов. Такая замена способствует улучшению биологических и вкусовых свойств продукции мясопереработки, оптимизации использования дефицитного сырья и снижению себестоимости производства (*Волкова, 2021, 2022; Савинкова, 2023*).

В пищевой индустрии в настоящее время разработаны и совершенствуются рецептуры напитков с применением белка животного происхождения. Так, специалистами создан инновационный комплексный продукт функционального назначения для атлетов и людей, ведущих активный образ жизни. Разработана рецептура изотонического напитка, обогащенного изолятом сывороточного белка и витаминным премиксом, который способен восполнять отсутствие в организме необходимых веществ для нормального его функционирования (*Лазарев, 2024*).

Исследования специалистов показали, что обогащение хлебобулочных изделий белками животного происхождения приводит к эффективным результатам.

Обогащение хлеба сывороточными белками позволяет оптимизировать биологическую и пищевую ценность продукта. Использование сывороточных продуктов в хлебопечении приводит к улучшению цвета хлебной корочки, появлению приятного молочного привкуса и аромата в готовом изделии, увеличению удельного объема хлеба, замедлению черствения (*Бушкарева и др., 2019*).

Следовательно, применение белка животного происхождения (сывороточный белок) при производстве функциональных продуктов питания, в числе которых хлеб и хлебобулочные изделия, является перспективным направлением исследований.

Цель исследований – оценить органолептические и физико-химические показатели качества хлеба функционального назначения с применением белка животного происхождения.

В задачи исследований входило:

- 1) разработать рецептуру хлеба функционального назначения с добавлением белка животного происхождения;
- 2) проанализировать органолептические свойства готового продукта;
- 3) оценить физико-химические показатели готового продукта.

Материалы и методы

Разработка технологии производства и рецептуры хлеба функционального назначения осуществлялась на основании изучения имеющихся аналогов и научных исследований авторов. Работа реализована в условиях лаборатории технохимического контроля продуктов питания Уральского государственного экономического университета (УрГЭУ) (г. Екатеринбург).

Рецептуры хлеба разрабатывались с применением метода поверхности отклика (RSM) для оптимизации содержания изолята сывороточного белка (5–15 %) и влажности теста (40–50 %). Использовался центральный композиционный дизайн с последующей статистической обработкой данных в программе Statistica 10.0. Критериями оптимизации были: пористость мякиша (≥ 75 %), кислотность ($\leq 3,0$ град), органолептическая оценка ($\geq 4,5$ балла).

Анализ органолептических и физико-химических свойств готового продукта проводился в соответствии с ГОСТ Р 58233-2018 "Хлеб из пшеничной муки. Технические условия"¹ на базе лаборатории технохимического контроля УрГЭУ.

Органолептические показатели образцов хлеба анализировались на основании результатов дегустационной оценки. Оценка проводилась по балльной шкале (максимальный балл 40) путем сравнения показателей (внешний вид, состояние мякиша, вкус и запах) с нормами ГОСТ 5667-65 "Хлеб и хлебобулочные изделия. Правила приемки, методы отбора образцов, методы определения органолептических показателей и массы изделий"².

В оценки принимали участие 11 независимых дегустаторов.

Кроме того, в работе использованы методы оценки, описанные в следующих нормативных документах:

- ГОСТ 5669 "Хлебобулочные изделия. Метод определения пористости"³;
- ГОСТ 5670 "Хлебобулочные изделия. Методы определения кислотности"⁴;
- ГОСТ 21094 "Хлеб и хлебобулочные изделия. Метод определения влажности"⁵.

Рекомендуемые рецептура и технология производства функционального хлеба с использованием белка животного происхождения предложены, опираясь на оценку показателей качества готовых образцов продукта.

Проведен анализ содержания белка в контрольных и опытных образцах хлеба методом Кьельдаля (ГОСТ 31640-2012 "Корма. Методы определения содержания сухого вещества"⁶). Аминокислотный профиль определяли методом ВЭЖХ (ГОСТ 32195-2013 "Корма, комбикорма. Метод определения содержания аминокислот"⁷).

Результаты и обсуждение

Прежде чем приступить к подбору сырья для производства образцов функционального хлеба, разработке рецептуры и технологии их производства, проанализированы аналогичные продукты, реализуемые в торговых сетях (табл. 1).

¹ ГОСТ Р 58233-2018. Хлеб из пшеничной муки. Технические условия. URL: <https://internet-law.ru/gosts/gost/69913/?ysclid=mbf0vmu48d517271417>.

² ГОСТ 5667-65. Хлеб и хлебобулочные изделия. Правила приемки, методы отбора образцов, методы определения органолептических показателей и массы изделий. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200022321?ysclid=mbf0tbnbbq140991476>.

³ ГОСТ 5669. Хлебобулочные изделия. Метод определения пористости. URL: <https://internet-law.ru/gosts/gost/4217/?ysclid=mbf0u6a4x3696911060>.

⁴ ГОСТ 5670. Хлебобулочные изделия. Методы определения кислотности. URL: <https://internet-law.ru/gosts/gost/4080/?ysclid=mbf0ux75o5485847593>.

⁵ ГОСТ 21094. Хлеб и хлебобулочные изделия. Метод определения влажности. URL: <https://internet-law.ru/gosts/gost/78939/?ysclid=mbf0oyesr5992622187>.

⁶ ГОСТ 31640-2012. Корма. Методы определения содержания сухого вещества. URL: <https://internet-law.ru/gosts/gost/52337/?ysclid=mbf0r0xm49567449873>.

⁷ ГОСТ 32195-2013. Корма, комбикорма. Метод определения содержания аминокислот. URL: <https://files.stroyinf.ru/Data2/1/4293773/4293773804.pdf?ysclid=mbf0sie84c45761649>.

Таблица 1. Анализ существующих аналогов функционального хлеба
Table 1. Analysis of existing analogues of functional bread

Наименование	Показатель				
	дрожжевой/ бездрожжевой	функциональный компонент	количество белка в 100 г продукта, г	стоимость за 100 г, руб.	оценка потребителей
Хлеб "Пшеничный очищающий, цельнозерновой"	бездрожжевой	пророщенная пшеница, семена тыквы	7,5	37,0	4,7
Хлеб "Польза семечек"	бездрожжевой	семена тыквы, семена льна	8,5	26,3	4,7
Хлеб "Жизньмарт Фландрийский пшеничный"	дрожжевой	греча, сухое молоко	7,1	30,6	9,4
Хлеб "Протеиновый"	дрожжевой	семена киноа, семена чиа	14,6	нет информации	нет информации
Хлеб пшеничный на закваске "Здрава"	на закваске	семена подсолнечника, мед	7,0	23,7	нет отзывов
Хлеб на сыворотке	пшеничная закваска	патока карамельная, сыворотка	8,2	250,0	4,5
Хлеб "СН-Торг Фитнес"	дрожжевой	семена льна, семена подсолнечника	8,3	16,8	5,0

По результатам оценки установлено, что сорта хлеба, заявленные производителями в качестве функциональных, имеют как дрожжевую, так и бездрожжевую основу и приготовлены на закваске.

В качестве функционального компонента в составе сырья указаны такие пищевкусные добавки как пророщенная пшеница, семена тыквы, киноа, чиа, подсолнечника, льна, мед, карамельная патока. Среди белков животного происхождения представлена лишь сыворотка в хлебе "Хлеб на сыворотке". Данный продукт оказался самой высокой ценовой категории из представленных – 250 руб. за 100 г. Оценка потребителей этого хлеба оказалась ниже по сравнению с другими хлебами и составила 4,5 балла (звезды) из 5,0 возможных. Самое высокое содержание белка в оцениваемых аналогах отмечено на маркировке "Хлеб протеиновый" – 14,6 г в 100 г продукта, самое низкое (7,0 г/100 г) – в хлебе на пшеничной закваске "Здрава".

Следовательно, хлеб с добавлением белка животного происхождения слабо представлен на рынке функциональных продуктов, а существующие сорта обладают высокой стоимостью и низкой оценкой потребителей. Имеется необходимость разработки оптимальной рецептуры хлеба с добавлением животного белка, который будет высоко оценен потенциальными потребителями по основным органолептическим показателям.

Сырьем для производства образцов хлеба послужили мука пшеничная (высший и первый сорта), дрожжи, соль, вода и изолят сывороточного белка. Установлено (табл. 2), что наибольшая пористость (82 %) достигнута при 10 % белка и 45 % влажности, однако разница с 8 % белка статистически незначима ($p > 0,05$). Кислотность $\leq 3,0$ град сохраняется при 8–15 % белка.

Таблица 2. Оптимизация рецептуры хлеба
Table 2. Optimization of bread recipe

Номер опыта	Белок (%)	Влажность (%)	Пористость (%)	Кислотность (град)	Органолептика (балл)
1	5	40	75	3,2	4,3
2	8	40	78	3,0	4,5
3	15	40	68	2,8	4,1
4	5	50	78	3,5	4,5
5	8	50	74	3,3	4,4
6	15	50	70	3,0	4,2
7	10	45	80	2,9	4,7
8	10	45	82	2,8	4,6

Рецептура, представленная в табл. 3, рассчитана в соответствии с нормативными документами по производству пшеничного хлеба и позволяет разработать соответствующие этапы производства:

1. Подготовка сырья. Просеивали муку, дрожжи растворяли в теплой воде. Солевой раствор готовили отдельно. Раствор изолята сывороточного белка приготовили для замеса, предварительно отмерив необходимое количество.

2. Замешивание теста. Подготовленное сырье замешивали в специальных емкостях для замеса до густой консистенции.
3. Отлёжка. На протяжении 2 ч замес теста находился в духовом шкафу при температуре 35 °С. Затем тесто еще раз тщательно перемешали.
4. Обминка. Обработка дрожжевого теста с целью удаления газов для укрепления клейковины теста.
5. Формование. Разделили тесто на порционные куски. Вручную формировали тесто так, чтобы получился шар. Порционные куски укладывали в специальные формы для выпекания, предварительно смазанные растительным маслом.
6. Расстойка. Выдержка в течение 50 мин дрожжевых тестовых заготовок после процесса формования для увеличения объема и улучшения структуры полуфабрикатов.
7. Выпечка. Осуществляли в специальных печах в течение 50 мин при температуре 180 °С.
8. Подготовка к оценке качества. Остывание хлеба в течение 40 мин.

Таблица 3. Рецептúra образцов пшеничного хлеба функционального назначения, обогащенного белком животного происхождения
Table 3. Formulation of functional wheat bread samples enriched with animal protein

Номер образца	Сырье					
	Мука пшеничная высшего сорта, г	Мука пшеничная первого сорта, г	Дрожжи, г	Соль, г	Вода, мл	Изолят сывороточного белка, г
Образец 1 контрольный, мука высшего сорта	300,0	–	7,0	3,9	213,0	–
Образец 2 опытный, мука высшего сорта, изолят сывороточного белка	276,0	–	7,0	3,9	213,0	24,0
Образец 3 контрольный, мука первого сорта	–	300,0	7,0	3,9	213,0	–
Образец 4 опытный, мука первого сорта, изолят сывороточного белка	–	276,0	7,0	3,9	213,0	24,0

Для оценки органолептических показателей готовых образцов хлеба с добавлением животного белка создана комиссия независимых экспертов в составе 7 человек. Результаты дегустационной оценки показали (табл. 4), что образцы, приготовленные без использования изолята сывороточного белка, экспертами оценены выше по общей сумме баллов за все показатели. Разница с опытными образцами составила в среднем 1,3 балла.

Таблица 4. Результаты дегустационной оценки образцов готового продукта, балл
Table 4. Results of the tasting evaluation of the samples of the finished product, score

Номер образца	Показатель оценки								Общая оценка
	Внешний вид			Состояние мякиша			Вкус	Запах	
	форма	поверхность	цвет	пропеченность	промес	пористость			
Образец 1 контрольный, мука высшего сорта	4,9	4,6	4,7	4,7	5,0	4,9	4,5	4,9	38,0
Образец 2 опытный, мука высшего сорта, изолят сывороточного белка	4,5	4,9	4,6	4,9	4,7	4,3	4,7	4,6	36,6
Образец 3 контрольный, мука первого сорта	4,7	4,9	4,6	4,9	4,7	4,9	4,2	4,3	37,0
Образец 4 опытный, мука первого сорта, изолят сывороточного белка	4,4	4,6	4,9	4,6	4,9	3,9	4,6	4,4	35,9

У образца из пшеничной муки высшего сорта с изолятом сывороточного белка оценка была снижена за форму, цвет, промес и пористость мякиша; у образца из муки первого сорта – за форму, поверхность и уровень пропеченности мякиша.

Следует отметить, что образцы с добавлением изолята сывороточного белка имели выше оценки экспертов за вкус (в среднем на 0,3 балла). Вкус данных образцов был более сладковатый, запах – немного сливочный.

Таким образом, все приготовленные образцы по органолептическим показателям соответствовали ГОСТ Р 58233-2018 "Хлеб из пшеничной муки. Технические условия"⁸.

Перед выпеканием хлеба определили влажность теста (рис.). Установлено, что тесто контрольного образца из муки первого сорта имеет влажность на 2,8 % выше по сравнению с контрольным образцом теста из муки высшего сорта. При этом разница во влажности теста между опытными образцами составила 1 % (данный показатель выше в образце теста из муки высшего сорта).

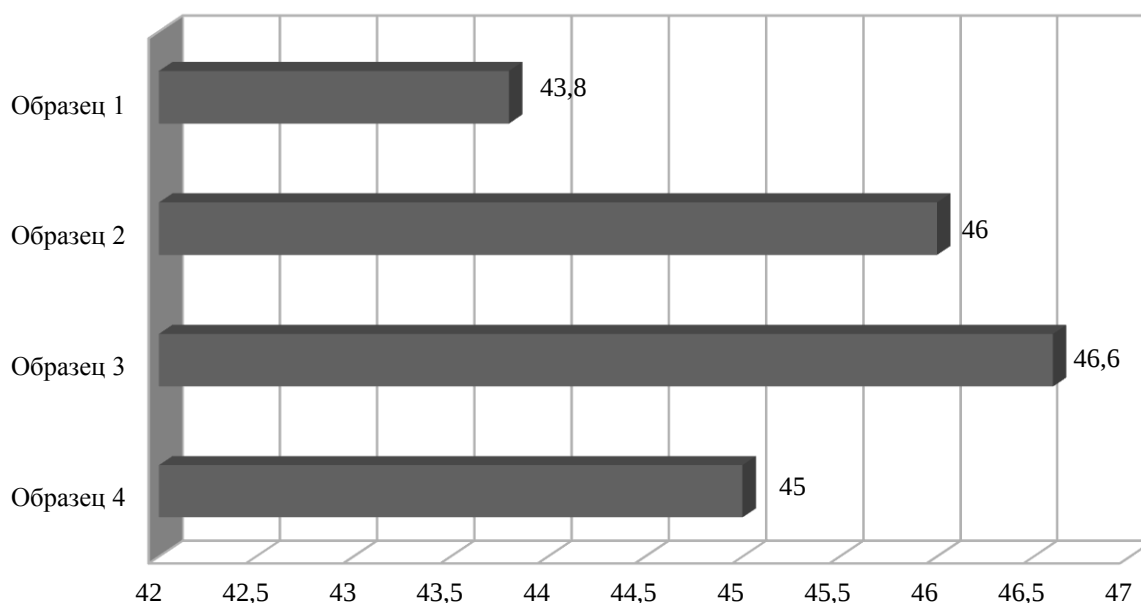


Рис. Влажность теста, %
Fig. Dough moisture, %

Оценка физико-химических показателей образцов готового продукта проводилась по следующим параметрам мякиша: пористость, влажность, кислотность (табл. 5).

Таблица 5. Физико-химические показатели образцов готового продукта
Table 5. Physical and chemical parameters of the samples of the finished product

Показатель	Образец			
	Образец 1 контрольный, мука высшего сорта	Образец 2 опытный, мука высшего сорта, изолят сывороточного белка	Образец 3 контрольный, мука первого сорта	Образец 4 опытный, мука первого сорта, изолят сывороточного белка
Пористость мякиша, %	80,4	75,8	80,4	77,7
Влажность мякиша, %	42,8	42,4	43,4	43,6
Кислотность мякиша, град	3,6	2,8	3,8	3,0

Пористость мякиша хлеба характеризует его усвояемость. Данный показатель в контрольных образцах имел одинаковые значения (80,4 %). При этом пористость мякиша опытных образцов в среднем на 3,7 % меньше по сравнению с контрольными. Следовательно, изолят сывороточного белка несколько снижает пористость мякиша готового продукта. Вместе с тем данный показатель во всех образцах соответствовал нормативным значениям, указанным в ГОСТ.

⁸ ГОСТ Р 58233-2018. Хлеб из пшеничной муки. Технические условия. URL: <https://internet-law.ru/gosts/gost/69913/?ysclid=mfb0vmu48d517271417>.

Влажность мякиша у образцов, приготовленных из муки высшего сорта, в среднем на 0,9 % ниже, чем из муки первого сорта. Данный показатель во всех образцах соответствовал нормативным значениям, указанным в ГОСТ. При этом чем выше влажность хлеба, тем он мягче и свежее, а также имеет меньшую калорийность. Следует отметить, что образец 4, приготовленный из муки первого сорта с применением изолята сывороточного белка, имел наибольшую влажность (43,6 %).

Установлено, что изолят сывороточного белка в рецептуре хлеба способствовал снижению кислотности готового продукта. Опытные образцы имели кислотность в среднем 2,9 град, что соответствует нормативным значениям, указанным в ГОСТ (не более 3 град).

Установлено (табл. 6), что добавление изолята сывороточного белка увеличило содержание белка в хлебе на 55 % (для муки высшего сорта) и 48 % (для первого сорта).

Таблица 6. Массовая доля белка в образцах хлеба
Table 6. Mass fraction of protein in bread samples

Номер образца	Массовая доля белка (% на сухое вещество)
Образец 1 контрольный, мука высшего сорта	8,2 ± 0,3
Образец 2 опытный, мука высшего сорта, изолят сывороточного белка	12,7 ± 0,4
Образец 3 контрольный, мука первого сорта	9,1 ± 0,2
Образец 4 опытный, мука первого сорта, изолят сывороточного белка	13,5 ± 0,5

Уровень белка в опытных образцах соответствует рекомендациям ВОЗ для функциональных продуктов (≥ 12 %).

Образцы с сывороточным белком содержат в среднем в 2 раза больше незаменимых аминокислот, особенно лейцина и лизина, что критично для мышечного синтеза и иммунитета (табл. 7).

Таблица 7. Содержание незаменимых аминокислот (мг/100 г продукта)
Table 7. Essential amino acid content (mg/100 g of product)

Аминокислота	Образец 1 контрольный, мука высшего сорта	Образец 2 опытный, мука высшего сорта, изолят сывороточного белка	Образец 3 контрольный, мука первого сорта	Образец 4 опытный, мука первого сорта, изолят сывороточного белка
Лизин	210 ± 15	420 ± 20	230 ± 15	450 ± 20
Лейцин	380 ± 18	780 ± 25	400 ± 18	800 ± 25
Валин	290 ± 12	610 ± 22	310 ± 12	630 ± 22
Изолейцин	250 ± 10	520 ± 18	270 ± 10	540 ± 18
Метионин + Цистеин	180 ± 8	350 ± 15	190 ± 8	370 ± 15

Данные по образцам хлеба из муки первого сорта соответствуют тенденции, выявленной для образцов из муки высшего сорта, что подтверждает универсальность эффекта обогащения сывороточным белком. Результаты подчеркивают потенциал использования сывороточного белка для улучшения аминокислотного профиля хлеба, особенно для групп населения с повышенной потребностью в белке (дети, спортсмены).

Опытные образцы с применением белка животного происхождения имели достаточно разрыхленный мякиш с равномерной мелкой тонкостенной пористостью, поэтому лучше будут пропитываться пищеварительными соками и полнее усваиваться организмом. Образцы хлеба с добавлением изолята сывороточного белка соответствовали показателям, указанным в нормативных документах, по уровню кислотности, а образцы без добавления белка – превышали норму в среднем на 0,7 град. Употребление хлеба с повышенной кислотностью может повысить процессы брожения в органах пищеварения и вызвать обострения у лиц, страдающих желудочно-кишечными заболеваниями. По показателю пористости мякиша и его влажности все образцы хлеба соответствовали ГОСТ.

Заключение

Анализ аналогичных образцов функционального хлеба показал, что продукты с добавлением белка животного происхождения слабо представлены на рынке, а существующие сорта обладают высокой стоимостью и низкой оценкой потребителей. Следовательно, имеется необходимость разработки рецептуры и технологии производства нового продукта, отвечающего запросам потенциальных потребителей

по основным показателям качества. Сырьем для производства нового продукта послужили мука пшеничная разных сортов, дрожжи, соль, вода и изолят сывороточного белка, что позволило создать образцы хлеба, требующие оценки органолептических и физико-химических показателей.

Все приготовленные образцы пшеничного хлеба по органолептическим показателям соответствовали ГОСТ Р 58233-2018 "Хлеб из пшеничной муки. Технические условия". Хлеб с добавлением изолята сывороточного белка имел выше оценки экспертов за вкус (в среднем на 0,3 балла) и запах (в среднем на 0,2 балла). Вкус данных образцов был более сладковатый, запах – немного сливочный.

Физико-химические характеристики исследуемых образцов свидетельствовали о том, что изолят сывороточного белка несколько снижает пористость мякиша готового продукта. Опытные образцы имели достаточно разрыхленный мякиш с равномерной мелкой тонкостенной пористостью, следовательно, будут хорошо пропитываться пищеварительными соками и полнее усваиваться организмом. Опытные образцы с применением изолята сывороточного белка по уровню кислотности соответствовали показателям ГОСТ, а образцы без добавления белка – превышали норму в среднем на 0,7 град. Употребление хлеба с повышенной кислотностью может повысить процессы брожения в органах пищеварения и вызвать обострения у лиц, страдающих желудочно-кишечными заболеваниями.

Химический анализ подтвердил, что обогащение хлеба сывороточным белком повышает массовую долю протеина до 13,5 % и улучшает аминокислотный профиль. Это делает продукт ценным источником незаменимых аминокислот, особенно для групп с повышенной потребностью в белке (дети, спортсмены).

В качестве перспектив работы следует обозначить:

- повышение функциональных характеристик хлеба с добавлением изолята сывороточного белка путем увеличения доли пищевых волокон (семена льна, морковь и пр.);
- проведение исследований по применению белка животного происхождения при производстве других видов продуктов функционального назначения (напитки на растительной основе).

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Библиографический список

- Алиновская Е. С., Молчатский С. Л. Кирпичики здоровья человека – казеин и сывороточные белки // Цифровая наука. 2022. № 11. С. 26–34. EDN: CLVJVD.
- Бурак Л. Ч., Егорова З. Е., Саманкова Н. В. Альтернативные источники белка и современные методы его извлечения: обзор предметного поля // Sciences of Europe. 2024. № 150. С. 10–23. DOI: <https://doi.org/10.5281/zenodo.13926294>. EDN: EZAIPQ.
- Бушкарева А. С., Зубарева Т. Г. Обогащение хлебобулочных изделий белками растительного и животного происхождения // Вестник АПК Верхневолжья. 2019. № 4(48). С. 58–64. DOI: <https://doi.org/10.35694/YARCX.2019.48.4.012>. EDN: CUXTIE.
- Варивода А. А. Использование концентрата сывороточных белков в качестве стабилизатора структуры при производстве продуктов питания // Ползуновский вестник. 2020. № 2. С. 58–62. DOI: <https://doi.org/10.25712/ASTU.2072-8921.2020.02.011>. EDN: JMWPNR.
- Волкова Т. А. Использование концентратов сывороточных белков при производстве мясных продуктов // Мясные технологии. 2022. № 8(236). С. 32–34. DOI: <https://doi.org/10.33465/2308-2941-2022-08-32-34>. EDN: IJREKS.
- Волкова Т. А. Использование молочной сыворотки в производстве мясных продуктов // Мясные технологии. 2021. № 7(223). С. 18–20. DOI: <https://doi.org/10.33465/2308-2941-2021-07-18-20>. EDN: WZSSOF.
- Данько Н. Н. Анализ российского рынка хлеба и хлебобулочных изделий // Экономика и бизнес: теория и практика. 2023. № 12–1(106). С. 54–57. DOI: [10.24412/2411-0450-2023-12-1-54-57](https://doi.org/10.24412/2411-0450-2023-12-1-54-57). EDN: NCHWAM.
- Зиямутдинова З. К., Цой М. Е., Мирсаликова М. М. Вторичный иммунодефицит на фоне белковой недостаточности // Интернаука. 2024. № 15–1(332). С. 60–63. EDN: GOJVHO.
- Иванчихина О. В. Значение белка в профилактике и лечении заболеваний // Медицина. Социология. Философия. Прикладные исследования. 2023. № 2. С. 59–62. EDN: CHAXOV.
- Ивкова И. А., Тесля Е. А. Функциональные свойства и пищевая ценность сывороточных белков // Переработка молока. 2022. № 7(273). С. 54–55. EDN: SWBKND.
- Исычко В. Е., Ковтун Р. И., Шарбатов В. А. Веганство в спорте: анализ эффективности растительного белка для мышечного роста // Наука. Техника. Технологии (политехнический вестник). 2023. № 2. С. 351–353. EDN: XQOKKN.
- Лазарев В. А. Разработка изотонического напитка, обогащенного изолятом сывороточного белка и витаминным премиксом // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Пищевые и биотехнологии. 2024. Т. 12, № 3. С. 31–40. DOI: <https://doi.org/10.14529/food240304>. EDN: PFBABU.

- Мельникова Е. И., Станиславская Е. Б. Перспективные сывороточные ингредиенты для пищевой промышленности // *Переработка молока*. 2022. № 11(277). С. 12–14. DOI: <https://doi.org/10.33465/2222-5455-2022-11-12-14>. EDN: JEAYGU.
- Мештель А. В., Рыбакова П. Д. Действительно ли растительный белок хуже животного? Повествовательный обзор // *Спортивно-педагогическое образование*. 2022. № 1. С. 56–60. EDN: CUARVO.
- Мударисов Т. Практика отказа от белков животного происхождения // *Комбикорма*. 2021. № 4. С. 8–10. EDN: RVUJLI.
- Муханова Е. П. Продукты животного происхождения в питании человека // *Проблемы научной мысли*. 2022. Т. 1, № 8. С. 3–7. EDN: GXIWEEK.
- Савинкова Е. А. Изменение функционально-технологических свойств бескостного полуфабриката под влиянием пищевой добавки // *Вестник Марийского государственного университета. Серия: Сельскохозяйственные науки. Экономические науки*. 2023. Т. 9, № 2(34). С. 184–189. DOI: <https://doi.org/10.30914/2411-9687-2023-9-2-184-189>. EDN: ORZGYE.
- Троцюк Д. В., Медведев Д. С., Макаренко С. В., Юшкова И. Д. [и др.]. Белково-энергетическая недостаточность у лиц пожилого и старческого возраста // *Современные проблемы науки и образования*. 2020. № 2. DOI: <https://doi.org/10.17513/spno.29629>. EDN: VUIVRH.
- Фоменко И. А. Белковая недостаточность в питании человека // *Евразийское Научное Объединение*. 2021. № 7–1(77). С. 52–53. EDN: IRMEWS.
- Шерстнева В. С. Использование молочной сыворотки в пищевой промышленности // *Молодежь и наука*. 2019. № 10–11. С. 44. EDN: VQKQKQ.
- Azoulay D., Giryès S., Nasser R., Sharon R. [et al.]. Prediction of chemotherapy-induced peripheral neuropathy in patients with lymphoma and myeloma: The roles of brain-derived neurotropic factor protein levels and A gene polymorphism // *Journal of Clinical Neurology*. 2019. Vol. 15, Iss. 4. P. 511–516. DOI: <https://doi.org/10.3988/jcn.2019.15.4.511>.
- Delaby C., Alcolea D., Carmona-Iragui M., Illán-Gala I. [et al.]. Differential levels of neurofilament light protein in cerebrospinal fluid in patients with a wide range of neurodegenerative disorders. *Scientific Reports*. 2020. Vol. 10. Article number: 9161. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41598-020-66090-x>.
- Loprinzi C. L., Lacchetti C., Bleeker J., Cavaletti G. [et al.]. Prevention and management of chemotherapy-induced peripheral neuropathy in survivors of adult cancers: ASCO Guideline Update // *Journal of Clinical Oncology*. 2020. Vol. 38, N 28. P. 3325–3348. DOI: <https://doi.org/10.1200/JCO.20.01399>.
- Romano R., Del Fiore V. S., Bucci C. Role of the intermediate filament protein peripherin in health and disease // *International Journal of Molecular Sciences*. 2022. Vol. 23, Iss. 23. Article number: 15416. DOI: <https://doi.org/10.3390/ijms232315416>.
- Tofaris G. K., Patterson P. H., Jessen K. R., Mirsky R. Denervated Schwann cells attract macrophages by secretion of leukemia inhibitory factor (LIF) and monocyte chemoattractant protein-1 in a process regulated by interleukin-6 and LIF. *Journal of Neuroscience*. 2002. Vol. 22, Iss. 15. P. 6696–6703. DOI: <https://doi.org/10.1523/JNEUROSCI.22-15-06696.2002>.

References

- Alinovskaya, E. S., Molchatsky, S. L. 2022. Bricks of human health – casein and whey proteins. *Tsifrovaya nauka*, 11, pp. 26–34. EDN: CLVJVD. (In Russ.)
- Burak, L. Ch., Egorova, Z. E., Samankova, N. V. 2024. Alternative protein sources and modern methods of its extraction: A review of the subject field. *Sciences of Europe*, 150, pp. 10–23. DOI: <https://doi.org/10.5281/zenodo.13926294>. EDN: EZAIQ. (In Russ.)
- Bushkareva, A. S., Zubareva, T. G. 2019. Enrichment of bakery products with proteins of plant and animal origin. *Bulletin of the Upper Volga AIC*, 4(48), pp. 58–64. DOI: <https://doi.org/10.35694/YARCX.2019.48.4.012>. EDN: CUXTIE. (In Russ.)
- Varivoda, A. A. 2020. The use of whey protein concentrate as a structure stabilizer in food production. *Polzunovskiy vestnik*, 2, pp. 58–62. DOI: <https://doi.org/10.25712/ASTU.2072-8921.2020.02.011>. EDN: JMWPNR. (In Russ.)
- Volkova, T. A. 2022. The use of whey protein concentrates in meat production. *Meat Technology Magazine*, 8(236), pp. 32–34. DOI: <https://doi.org/10.33465/2308-2941-2022-08-32-34>. EDN: IJREKS. (In Russ.)
- Volkova, T. A. 2021. The use of whey in meat production. *Myasnye Tekhnologii*, 7(223), pp. 18–20. DOI: <https://doi.org/10.33465/2308-2941-2021-07-18-20>. EDN: WZSSOF. (In Russ.)
- Danko, N. N. 2023. Analysis of the Russian bread and bakery market. *Economy and Business: Theory and Practice*, 12–1(106), pp. 54–57. DOI: [10.24412/2411-0450-2023-12-1-54-57](https://doi.org/10.24412/2411-0450-2023-12-1-54-57). EDN: NCHWAM. (In Russ.)
- Ziyamutdinova, Z. K., Tsoi, M. E., Mirsadikova, M. M. 2024. Secondary immunodeficiency due to protein deficiency. *Internauka*, 15–1(332), pp. 60–63. EDN: GOJVHO. (In Russ.)
- Ivanchikhina, O. V. 2023. The importance of protein in the prevention and treatment of diseases. *Medicine. Sociology. Philosophy. Applied Research*, 2, pp. 59–62. EDN: CHAXOV. (In Russ.)

- Ivkova, I. A., Teslya, E. A. 2022. Functional properties and nutritional value of whey proteins. *Pererabotka moloka*, 7(273), pp. 54–55. EDN: SWBKND. (In Russ.)
- Isycho, V. E., Kovtun, R. I., Sharbatov, V. A. 2023. Veganism in sports: Analysis of the effectiveness of plant protein for muscle growth. *Science. Engineering. Technology (Polytechnical Bulletin)*, 2, pp. 351–353. EDN: XQOKKN. (In Russ.)
- Lazarev, V. A. 2024. Development of an isotonic drink enriched with whey protein isolate and vitamin premix. *Bulletin of the South Ural State University Series Food and Biotechnology*, 12(3), pp. 31–40. DOI: <https://doi.org/10.14529/food240304>. EDN PFBABU. (In Russ.)
- Melnikova, E. I., Stanislavskaya, E. B. 2022. Promising whey ingredients for the food industry. *Milk Branch Magazine*, 11(277), pp. 12–14. DOI: <https://doi.org/10.33465/2222-5455-2022-11-12-14>. EDN: JEAYGU. (In Russ.)
- Meshtel, A. V., Rybakova, P. D. 2022. Is plant protein really worse than animal protein? A narrative review. *Sports and Pedagogical Education*, 1, pp. 56–60. EDN: CUARVO. (In Russ.)
- Mudarisov, T. 2021. The practice of abandoning animal proteins. *Kombikorma*, 4, pp. 8–10. EDN: RVUJLI. (In Russ.)
- Mukhanova, E. P. 2022. Animal products in human nutrition. *Problemy Nauchnoi Mysli*, 1(8), pp. 3–7. EDN: GXIWEK. (In Russ.)
- Savinkova, E. A. 2023. Changes in the functional and technological properties of boneless semi-finished products under the influence of a food additive. *Vestnik of Mari State University. Chapter: Agriculture. Economics*, 9(2(34)), pp. 184–189. DOI: <https://doi.org/10.30914/2411-9687-2023-9-2-184-189>. EDN: ORZGYE. (In Russ.)
- Trotsyuk, D. V., Medvedev, D. S., Makarenko, S. V. et al. 2020. Protein-energy deficiency in elderly and senile individuals. *Modern Problems of Science and Education*, 2. DOI: <https://doi.org/10.17513/spno.29629>. EDN: VUIVRH. (In Russ.)
- Fomenko, I. A. 2021. Protein deficiency in human nutrition. *Evrasiiskoe Nauchnoe Ob'edinenie*, 7–1(77), pp. 52–53. EDN: IRMEWS. (In Russ.)
- Sherstneva, V. S. 2019. The use of whey in the food industry. *Molodezh' i Nauka*, 10–11, pp. 44. EDN: VQQKQC. (In Russ.)
- Azoulay, D., Giryas, S., Nasser, R., Sharon, R. et al. 2019. Prediction of chemotherapy-induced peripheral neuropathy in patients with lymphoma and myeloma: The roles of brain-derived neurotrophic factor protein levels and A gene polymorphism. *Journal of Clinical Neurology*, 15(4), pp. 511–516. DOI: <https://doi.org/10.3988/jcn.2019.15.4.511>.
- Delaby, C., Alcolea, D., Carmona-Iragui, M., Illán-Gala, I. et al. 2020. Differential levels of neurofilament light protein in cerebrospinal fluid in patients with a wide range of neurodegenerative disorders. *Scientific Reports*, 10. Article number: 9161. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41598-020-66090-x>.
- Loprinzi, C. L., Lacchetti, C., Bleeker, J., Cavaletti, G. et al. 2020. Prevention and management of chemotherapy-induced peripheral neuropathy in survivors of adult cancers: ASCO Guideline Update. *Journal of Clinical Oncology*, 38(28), pp. 3325–3348. DOI: <https://doi.org/10.1200/JCO.20.01399>.
- Romano, R., Del Fiore, V. S., Bucci, C. 2022. Role of the intermediate filament protein peripherin in health and disease. *International Journal of Molecular Sciences*, 23(23). Article number: 15416. DOI: <https://doi.org/10.3390/ijms232315416>.
- Tofaris, G. K., Patterson, P. H., Jessen, K. R., Mirsky, R. 2002. Denervated Schwann cells attract macrophages by secretion of leukemia inhibitory factor (LIF) and monocyte chemoattractant protein-1 in a process regulated by interleukin-6 and LIF. *Journal of Neuroscience*, 22(15), pp. 6696–6703. DOI: <https://doi.org/10.1523/JNEUROSCI.22-15-06696.2002>.

Сведения об авторах

Чеченихина Ольга Сергеевна – ул. 8 Марта, 62, г. Екатеринбург, Россия, 620130;
Уральский государственный экономический университет, д-р биол. наук, профессор;
e-mail: olgachech@yandex.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9011-089X>

Olga S. Chechenikhina – 62, 8 Marta Str., Yekaterinburg, Russia, 620130;
Ural State University of Economics, Dr Sci. (Biology), Professor;
e-mail: olgachech@yandex.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9011-089X>

Лазарев Владимир Александрович – ул. 8 Марта, 62, г. Екатеринбург, Россия, 620130;
Уральский государственный экономический университет, канд. техн. наук;
e-mail: lazarev.eka@gmail.com, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0470-7324>

Vladimir A. Lazarev – 62, 8 Marta Str., Yekaterinburg, Russia, 620130;
Ural State University of Economics, Cand. Sci. (Engineering);
e-mail: lazarev.eka@gmail.com, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0470-7324>

УДК 664:637.181

Напитки на растительной основе: обзор сырьевых компонентов и технологий получения

Д. И. Алексаночкин*, И. Д. Семенов, И. А. Фоменко

*Российский биотехнологический университет (РОСБИОТЕХ), г. Москва, Россия;
e-mail: aleksanochkindi@list.ru, ORCID: <https://orcid.org/0009-0000-7677-6583>

Информация о статье Реферат

Поступила
в редакцию
19.03.2025;

получена
после доработки
10.04.2025;

принята
к публикации
21.05.2025

Ключевые слова:

напитки на растительной
основе,
альтернативное молоко,
непереносимость
лактозы,
технология получения
напитков,
ферментативная
экстракция,
рынок растительных
напитков

Для цитирования

Непереносимость лактозы представляет собой широко распространенное патологическое состояние, характеризующееся недостаточной активностью фермента β -галактозидазы (лактазы). Согласно современным эпидемиологическим данным это нарушение обмена веществ наблюдается у 70 % населения мира, распространенность среди российского населения составляет 61 %. В качестве альтернативного источника питательных веществ животному молоку рекомендуется использование растительных напитков. В основном их получают из различных культур, таких как бобовые, масличные, орехоплодные и злаковые. Первичная обработка сырья определяется его биохимическими и структурными особенностями, включая содержание белков, жиров и углеводов (БЖУ), а также физико-химическими свойствами матрикса. Для производства растительных напитков преимущественно используется высокобелковое сырье: соевые бобы (до 40 % белка), миндальные орехи (10–29 % белка), конопляные семена (20–30 % белка). Эти культуры являются ценными источниками различных микронутриентов, таких как витамины, минералы и антиоксиданты. Выбор конкретного типа сырья зависит от множества факторов: вкусовых предпочтений потребителей, технологических особенностей производства и экономической эффективности использования того или иного сырья. Традиционно растительные напитки получают с использованием технологии мокрого или сухого измельчения с последующей экстракцией суспензии. Ферментативная обработка способствует воздействию на компоненты клеточной стенки растений и улучшению извлечения внутриклеточных биомолекул. Применение биотехнологических методов способствует повышению белкового профиля, а также улучшению органолептических свойств напитка. Целью работы является всесторонний анализ особенностей использования различных типов растительного сырья в производстве альтернативных напитков, а также рассмотрение современных технологических подходов к их изготовлению.

Алексаночкин Д. И. и др. Напитки на растительной основе: обзор сырьевых компонентов и технологий получения. Вестник МГТУ. 2025. Т. 28, № 3. С. 371–384. DOI: <https://doi.org/10.21443/1560-9278-2025-28-3-371-384>.

Plant-based beverages: An overview of raw materials and production technologies

Denis I. Aleksanochkin*, Ivan D. Semenov, Ivan A. Fomenko

*Russian Biotechnological University (ROSBIOTECH), Moscow, Russia;
e-mail: aleksanochkindi@list.ru, ORCID: <https://orcid.org/0009-0000-7677-6583>

Article info

Received
19.03.2025;

received
in revised form
10.04.2025;

accepted
21.05.2025

Key words:

plant-based beverages,
alternative milk,
lactose intolerance,
beverage technology,
enzymatic extraction,
herbal beverage market

For citation

Abstract

Lactose intolerance is a widespread pathological condition characterized by insufficient activity of the enzyme β -galactosidase (lactase). According to modern epidemiological data, this metabolic disorder is observed in 70 % of the world's population, while the prevalence among the Russian population is 61 %. As an alternative source of nutrients for animal milk, the use of herbal drinks is recommended. They are mainly obtained from various crops such as legumes, oilseeds, nuts and cereals. The primary processing of raw materials is determined by its biochemical and structural features, including the content of proteins, fats and carbohydrates, as well as the physico-chemical properties of the matrix. High-protein raw materials are mainly used for the production of herbal drinks: soybeans (up to 40 % protein), almonds (10–29 % protein), hemp seeds (20–30 % protein). In addition, these crops are valuable sources of various micronutrients such as vitamins, minerals, and antioxidants. The choice of a specific type of raw material depends on many factors: the taste preferences of consumers, the technological features of production and the economic efficiency of using a particular raw material. Traditionally, herbal drinks are produced using wet or dry grinding technology followed by suspension extraction. Enzymatic treatment promotes the effect on plant cell wall components and improves the extraction of intracellular biomolecules. Thus, the use of biotechnological methods helps to increase the protein profile, as well as improve the organoleptic properties of the drink. The purpose of the paper is a comprehensive analysis of the features of the use of various types of plant raw materials in the production of alternative beverages, as well as consideration of modern technological approaches to their manufacture.

Aleksanochkin, D. I. et al. 2025. Plant-based beverages: An overview of raw materials and production technologies. *Vestnik of MSTU*, 28(3), pp. 371–384. (In Russ.) DOI: <https://doi.org/10.21443/1560-9278-2025-28-3-371-384>.

Введение

Лактоза (β -галактоза-1,4-глюкоза), также известная как молочный сахар, представляет собой дисахарид, состоящий из глюкозы и галактозы (Ibrahim et al., 2021). Лактаза – фермент, который гидролизует лактозу путем ее расщепления на два простых углевода: глюкозу и галактозу. Эти вещества затем могут проникать через клеточную мембрану. Глюкоза служит основным источником энергии для организма человека, обеспечивая его жизнедеятельность. В свою очередь, галактоза участвует в формировании сложных биологических молекул, таких как гликолипиды и гликопротеины, которые играют важную роль в различных физиологических процессах (del Carmen Toca et al., 2022). Как сахар лактоза играет важную роль в качестве источника энергии, высвобождая 4 ккал/г, а также имеет низкий гликемический индекс. Она считается важным дисахаридом для здоровья костей из-за его роли в усвоении кальция (Dominici et al., 2022). Более того, лактоза обеспечивает около 50 % общей потребности в энергии в первый год жизни (Ratajczak et al., 2021). Молочные белки имеют высокую пищевую ценность, они богаты незаменимыми аминокислотами (лейцином, изолейцином, валином, лизином, гистидином, метионином и фенилаланином). Состав молочных белков варьируется в зависимости, от какого животного было получено молоко, однако в среднем представляет данное соотношение: казеин (около 75–85 %), сывороточный белок (15–22 %) и минорные белки (2,8–3,6 %) (Pratelli et al., 2024; Hamad et al., 2023). Молоко и молочные продукты являются частью сбалансированного питания человека, они важны для здоровья, поскольку могут снизить риск развития остеопороза и сердечно-сосудистых заболеваний, а также они богаты микро- и макронутриентами (Bórawski et al., 2021).

Стоит отметить, что для значительной части населения употребление молочных продуктов может быть связано с определенными сложностями, самой распространенной из которых является непереносимость лактозы. Непереносимость лактозы – это нарушение обмена веществ, при котором люди не могут переваривать значительное количество молочного сахара (Falbová et al., 2025). Существует 3 основных типа непереносимости лактозы: 1) первичная непереносимость начинается после периода грудного вскармливания: данный тип непереносимости характеризуется снижением активности фермента лактазы. Она также классифицируется как гиполактазия взрослого типа, пониженная активность фермента или наследственный дефицит лактазы; 2) вторичная лактозная непереносимость возникает из-за нарушения целостности слизистой кишечника, спровоцированного различными заболеваниями. Она может проявиться у людей любого возраста, но чаще наблюдается у младенцев; 3) врожденная лактозная непереносимость – крайне редкое генетическое нарушение, характеризующееся полным отсутствием фермента лактазы. У новорожденных патология проявляется диареей и недостаточным набором массы тела после первого приема грудного молока (Ibrahim et al., 2021).

Данные эпидемиологического обследования населения планеты показывают, что 70 % имеет ту или иную степень лактазной недостаточности, с этническими и возрастными различиями в заболеваемости (Asrar et al., 2023; Li et al., 2023; Kongpharm et al., 2024). В Америке этот показатель составляет около 50 %, в Азии – 70 %, в Африке – около 100 %. Распространенность этого диагноза среди населения распределена крайне неравномерно. Так, в США показатели различаются в зависимости от этнической принадлежности: около 15 % у людей европейского происхождения, 53 % у американцев мексиканского происхождения и 80 % у афроамериканцев. В Европе средний уровень распространенности составляет примерно 28 %, однако он значительно колеблется в пределах континента – от 2 % в скандинавских странах до 70 % в Италии (Catanzaro et al., 2021). На рис. 1 представлена информация по процентному распределению непереносимости лактозы.

В России по данным аналитического сайта World population review показатель непереносимости лактозы затрагивает около 61 % населения (2024 г.). Максимальная частота аллеля С (ассоциированного с непереносимостью лактозы) обнаружена в Якутии (84,0 %), а также на юге России, в частности в Северной Осетии (83,2 %), Чеченской Республике (77,8 %) и Дагестане (74,3 %), минимальная (54,4 %) – во Владимирской области (Колесникова и др., 2024; Nikitina et al., 2024). По данным Росстата (2021 г.), потребление молочных продуктов по России в среднем составляет 240–241 кг на одного человека в год.

Еще одной важной причиной, по которой многие люди отказываются от молока или сокращают его потребление в своем рационе, является увеличение доли людей, страдающих аллергией на молочные белки. Примерно от 2 до 7,5 % детей страдают от аллергии на белок коровьего молока в течение первого года жизни, которая проявляется в виде аллергических симптомов, влияющих на состояние кожи, желудочно-кишечного тракта и дыхательных путей (Portocarrero et al., 2024). Кроме того, рост популярности вегетарианского и веганского образа жизни также оказывает существенное влияние на снижение потребления молочных продуктов. Многие люди выбирают такие диеты не только из соображений здоровья, но и исходя из этических принципов, связанных с отказом от эксплуатации животных (Gibbs et al., 2024). С экологической точки зрения традиционное молочное производство оказывает значительное воздействие на окружающую

среду. Оно связано с высоким уровнем выбросов парниковых газов, большим потреблением воды и земельных ресурсов (Ramsing *et al.*, 2023).

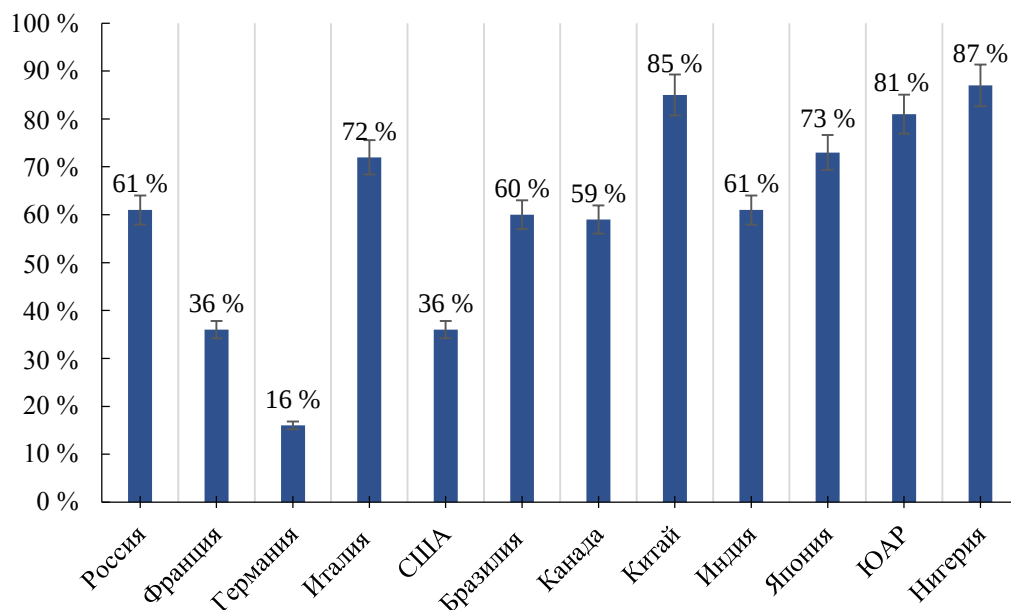


Рис. 1. Инфографика процентного распределения непереносимости лактозы по странам (World population review¹)

Fig. 1. Infographic of the percentage distribution of lactose intolerance by country (World population review)

Решением проблемы являются напитки на растительной основе. Альтернативное молоко – это напитки растительного происхождения, которые являются заменой традиционному молоку. Они производятся из различных источников, таких как орехи, злаки, бобы и семена. Альтернативные виды молока становятся все более популярными благодаря подходящим характеристикам для людей с непереносимостью лактозы, веганов, а также тех, кто стремится уменьшить потребление животных продуктов по экологическим или этическим соображениям (Collard *et al.*, 2021; Gonçalves *et al.*, 2025). Различные источники растительного сырья (орехи, злаки, бобы и семена) обеспечивают широкий спектр питательных веществ, таких как белки, углеводы, жиры, витамины, минералы, а также пищевые волокна и антиоксиданты. Белки растительного происхождения характеризуются высокой степенью усвояемости, хотя их аминокислотный состав во многом менее сбалансированный по сравнению с белками животного происхождения. В то же время профиль жирных кислот некоторых растительных культур превосходит по своей ценности многие животные источники, особенно в отношении содержания ненасыщенных жирных кислот омега-3 и омега-6. Пищевые волокна являются одними из самых важных компонентов растительного сырья, способствуя нормализации пищеварения, снижению уровня холестерина и поддержанию здоровой микробиоты кишечника, что делает их неотъемлемой частью сбалансированного питания.

Цель статьи – проанализировать различные способы переработки растительного сырья для получения напитка на их основе. Данная работа является частью проекта по получению альтернативного молока из семян конопли с использованием технологии ферментативной биотрансформации водной суспензии.

Материалы и методы

Для анализа литературы были использованы ведущие международные и российские научные поисковые системы: Google Scholar, PubMed, ScienceDirect, eLIBRARY и "КиберЛенинка". При отборе материалов применялись следующие ключевые слова:

- на русском языке: животное молоко, непереносимость лактозы, альтернативное молоко, заменители на растительной основе, растительное сырье для получения альтернативного молока, технология получения растительных напитков, рынок альтернативного молока;
- на английском языке: animal milk, lactose intolerance, alternative milk, plant-based substitutes, plant raw materials for alternative milk production, technology for producing herbal drinks, alternative milk market.

¹ URL: <https://worldpopulationreview.com/country-rankings/lactose-intolerance-by-country>.

В работе проанализировано 56 научных публикаций.

Критерии включения:

- опубликованные научные статьи;
- период выхода публикаций – 2008–2025 гг.;
- публикации на русском и английском языках.

Критерии исключения:

- тезисы докладов конференций, работы без полных текстов публикаций;
- публикации на других языках;
- публикации, вышедшие ранее 2008 г.

Тематика статьи связана с изучением растительного сырья, напитков на растительной основе, рынка растительных напитков, теоретических основ технологии получения растительных напитков из растительного сырья.

Результаты и обсуждение

Рынок растительных напитков

Спрос на альтернативное молоко постоянно растет, это связано со сдвигом питания людей в сторону сбалансированного и разнообразного потребления пищевых продуктов. Растет тенденция перехода населения в сторону вегетарианства, поскольку их пищевые привычки заключаются в исключении продуктов животного происхождения. Таким образом, проблемы непереносимости лактозы и трансформация потребительского спроса делают альтернативное молоко одним из перспективных направлений пищевой промышленности.

В 2024 г. по данным аналитической компании Global Market Insights рынок альтернативного молока оценивался в 29,5 млрд долларов США, эксперты прогнозируют ежегодный прирост более чем на 10,6 % в течение десяти лет, с 2025 по 2034 гг. Популярность таких напитков, как соевое, миндальное, овсяное и рисовое молоко, обусловлена спросом со стороны людей с особыми диетическими предпочтениями. На рис. 2 представлена информация по распределению продуктов на альтернативной основе в Европе и России.

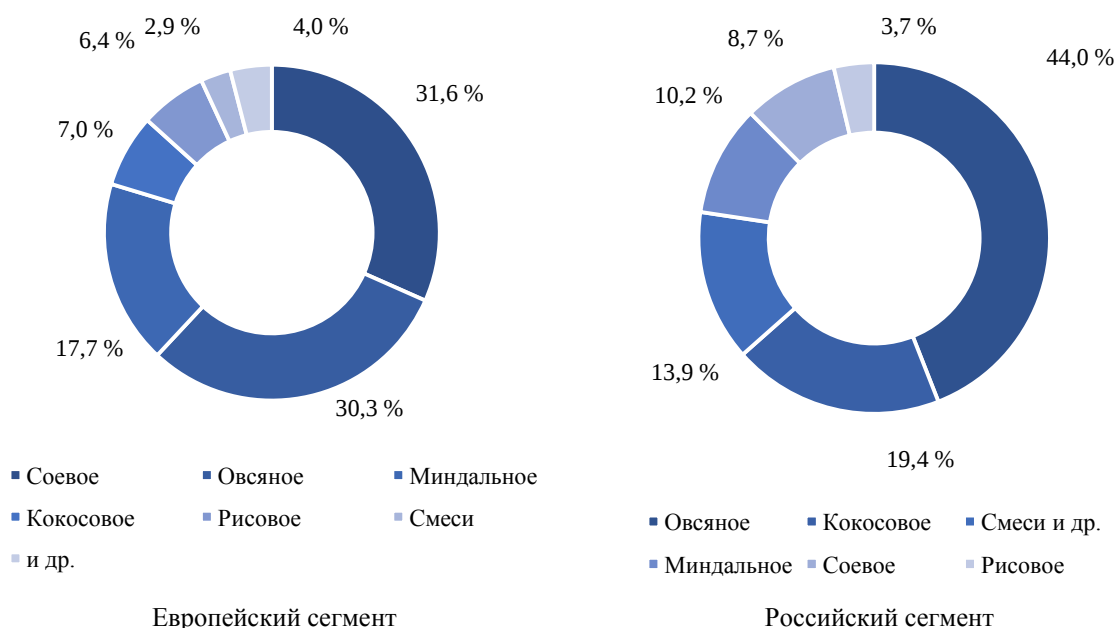


Рис. 2. Потребление альтернативного молока по видам продукции в Европе и в России (EMIS²)

Fig. 2. Consumption of alternative milk by product type in Europe and Russia (EMIS)

По данным компании EMIS в структуре потребления растительного молока в России по видам (в 2022 г.) наибольшие объемы приходились на овсяное молоко (44,0 % розничных продаж). Далее следуют кокосовое (19,4 %), миндальное (10,2 %), соевое (8,7 %) и рисовое (3,7 %). Данные отличаются от средневропейского спроса, потребители нашей страны больше предпочитают овсяный напиток в отличие

² URL: https://aemcx.ru/wp-content/uploads/2023/06/Обзор-ВЭД_Растительные-напитки.pdf?ysclid=mb4rnv60l2752251536.

от соевого, который на европейском рынке занимает 31,6 %. Это может быть связано с популярностью отечественного бренда альтернативного молока – NeMoloko, лидирующим продуктом которого является овсяный напиток.

Китай является абсолютным лидером по потреблению растительных напитков, занимая 36,4 % мирового рынка (3 055,2 тыс. т). В стране работает несколько крупных производителей: Hebei Yangyuan Zhihui Beverage (Yangyuan), Coconut Palm Group (Coconut Palm) и Wanxiang Sannong (Lolo), которые совместно контролируют около 60 % рынка в стоимостном выражении. На втором месте находится США с объемом потребления 1 704,2 тыс. т. Почти половина американского рынка принадлежит двум компаниям Danone Group, владеющей брендами Silk и So Delicious, и Blue Diamond Growers, выпускающей Almond Breeze. В Японии, занимающей третье место с показателями 431,8 тыс. т, лидируют Kikkoman Corp и Marusanai, чья доля составляет около 70 % продаж.

В 2022 г. объем рынка альтернативных напитков в России составляет 50,9 тыс. т и с каждым годом прогнозируется его рост. Однако объем российского рынка в 60 раз меньше по сравнению с лидирующим Китаем. При этом в период с 2017 г. по 2022 г. среднегодовой темп роста потребления напитков на растительной основе составляет 37,9 % в год. В нашей стране одними из лидеров по производству напитков на альтернативной основе являются: "Сады Придонья" (бренд NeMoloko), "ЭФКО" (бренд Hi!), "Союзпищепром" (бренды Green Milk) и "Полома" (бренд Naala). На данный момент существует тенденция к сокращению импорта в пользу отечественных производителей, так, с 2021 по 2022 гг. импорт альтернативного молока сократился в 2,1 раза.

Изучение производства альтернативных напитков является перспективным направлением отечественной пищевой промышленности.

Растительное сырье для получения растительных напитков

Альтернативное молоко получают из различных растительных источников, которые можно классифицировать в зависимости от типа и вида сырья. На рис. 3 представлена классификация растительного сырья, используемого в технологиях получения напитков на растительной основе, а также применяемых технологических процессов.

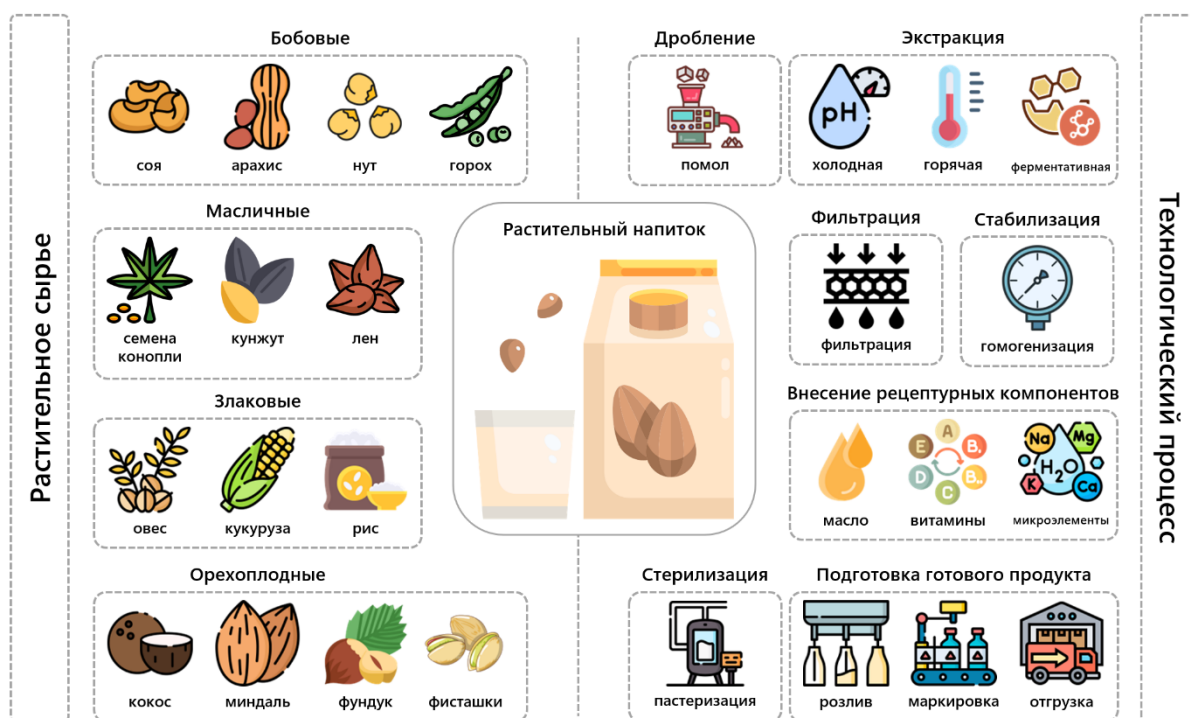


Рис. 3. Классификация растительного сырья и технологических процессов, используемых для получения напитка на растительной основе (Silva et al., 2020; Shori et al., 2021)

Fig. 3. Classification of plant raw materials and technological processes used to produce a plant-based beverage (Silva et al., 2020; Shori et al., 2021)

Для получения напитков на растительной основе используются бобовые, масличные, злаковые, орехоплодные и другие культуры, которые служат основой для таких популярных продуктов, как соевое, миндальное, овсяное и кокосовое молоко. Урожайность и объем производства растительного сырья во многом определяются типом культуры и особенностями ее возделывания в той или иной стране. Различия в климатических условиях, сельскохозяйственных практиках и распространении конкретных культур влияют на количество получаемого сырья и эффективность его переработки в растительные напитки.

Первичная обработка сырья определяется его биохимическими и структурными особенностями, включая содержание белков, жиров и углеводов (БЖУ), а также физико-химическими свойствами матрикса. Например, бобы сои содержат до 40 % сырого протеина и около 20 % липидов. Белковый профиль сои характеризуется высоким уровнем лизина (6,2 г/100 г), однако его биологическая ценность ограничена дефицитом метионина и цистина (2,9 г/100 г) (Banaszkiewicz, 2011).

Овес занимает второе место среди сырья для растительных напитков. Его белковая фракция (7,4–24,5 %) отличается высокой усвояемостью (90,3–94,2 %) и биологической ценностью (74,5–79,6 %). Липидный профиль (2,2–11,0 %) представлен преимущественно ненасыщенными жирными кислотами (80 %), включая линолевую (24,0–48,0 %), олеиновую (29,0–53,0 %) и α -линоленовую (1,0–5,0 %). Зерно также содержит до 30 % пищевых волокон, включая растворимые (1-4)- β -D-глюканы (3,1–8,0 %), которые способствуют улучшению пищеварения (Leszczyńska et al., 2023). β -глюкан также полезен для пациентов с диабетом второго типа благодаря эффекту увеличения вязкости раствора, что приводит к замедлению времени опорожнения желудка, повышению сытости и снижению потребления пищи (Le et al., 2025).

Миндаль является лидером по мировому производству среди орехоплодных культур. В 28 г сырья содержится 50 % дневной нормы витамина E, 25 % рибофлавина и 13 % клетчатки. Его химический состав вариателен: углеводы – 14,0–26,6 %, белки – 10,0–29,0 %, липиды – 31,7–66,1 %. Усвояемость белка миндаля составляет 44,3–47,8 %, а концентрация микронутриентов зависит от сорта, условий культивации и степени зрелости культуры (Tomishima et al., 2022).

Рис содержит в своем составе 7 % белка с сбалансированным профилем незаменимых аминокислот, однако лизин находится в лимитирующем количестве. Рисовый белок характеризуется высокой степенью усвояемости и гипоаллергенными свойствами, что обусловлено, в частности, отсутствием глутенинов. Однако его функциональные характеристики ограничены из-за низкой растворимости при нейтральных значениях pH. Помимо гипоаллергенных свойств рис отличается богатым минеральным составом, включающим значительные концентрации фосфора, калия и магния. В нем также содержатся витамины группы B и α -токоферол (витамин E), что делает его ценным источником микронутриентов. Тем не менее содержание липидов в рисе относительно невысокое – 3,2 % (Silva et al., 2020).

Конопля (*Cannabis sativa* ssp. *sativa*) содержит 25,0–35,0 % липидов, 20,0–30,0 % белков и 20,0–28,0 % углеводов. До 90 % жирных кислот (ЖК) приходится на ненасыщенные формы, преимущественно полиненасыщенные (70,0–80,0 %). Углеводный профиль представлен нерастворимыми волокнами (до 98 %), а белковая фракция обладает высокой биологической ценностью. Семена богаты витамином E (562,8–929,67 мг/кг) и витамином A (78,0 мг/кг), что усиливает их антиоксидантный потенциал (Freitas et al., 2023).

Анализ биохимических характеристик сои, овса, миндаля, риса и конопли демонстрирует их значительный потенциал для производства растительных напитков. Выбор сырья определяется балансом питательных компонентов, усвояемостью белков, содержанием функциональных веществ (например, β -глюканов, полиненасыщенных жирных кислот) и технологическими аспектами (Merenkova et al., 2022).

Ассортимент растительных напитков

Заменители молока на растительной основе или немолочные заменители являются одними из самых быстрорастущих сегментов напитков во всем мире (Pandey et al., 2020). Растительные напитки представляют собой разнородную категорию продуктов, их свойства зависят от сырья и технологий производства. Несмотря на преимущества их питательная ценность часто уступает коровьему молоку, что требует оптимизации рецептур. Перспективные направления включают использование ферментативного гидролиза и микробной ферментации для улучшения функционально-технических свойств (McClements et al., 2019). На данный момент существует множество видов растительных напитков:

- Соевое молоко богато белками ($\pm 3,9$ г/100 г), липидами ($\pm 2,4$ г/100 г), насыщенными жирными кислотами ($\pm 14,0$ г/100 г), мононенасыщенными жирными кислотами ($\pm 21,6$ г/100 г) и полиненасыщенными жирными кислотами ($\pm 63,5$ г/100). Доказано, что богатые белком соевые продукты могут снижать уровень общего холестерина, липопротеинов низкой плотности (ЛПНП) и триглицеридов (Shori et al., 2021). Кроме того, было обнаружено, что ферментированные соевые продукты эффективны в уменьшении симптомов сахарного диабета, артериального давления, сердечно-сосудистых заболеваний и осложнений, связанных с раком (Silva et al., 2020; Jayachandran et al., 2019). Однако фитиновая кислота в составе может ингибировать усвоение минералов в организме человека (Ahsan et al., 2018).

• Овсяное молоко представляет собой растительный напиток, производство которого осуществляется с применением контролируемых механических и ферментативных процессов. Ключевым фактором, определяющим качество овсяного напитка, является использование специфических ферментов на этапах экстракции. В частности, высокое содержание крахмала в овсе (50–60 %), который подвергается желатинизации при температуре 40–75 °С, требует применения ферментов для его эффективной модификации. Действие α - и β -амилаз приводит к гидролизу крахмала, что способствует образованию декстринов, мальтозы и мальтотриозы. Этот процесс не только обеспечивает сохранение жидкой консистенции продукта, предотвращая его загустение, но также придает овсяному молоку естественную сладость, что делает возможным отказ от добавления экзогенных сахаров (*Le et al.*, 2025; *Zhou et al.*, 2023). В среднем растительный напиток из овса содержит 0,40–3,24 (г/100 г) белка, 0,28–2,65 липидов и 0,30–18,8 углеводов (*Reyes-Jurado et al.*, 2023). Было доказано, что овес имеет ряд преимуществ для здоровья, выходящих за рамки базового питания, таких как снижение общего холестерина, снижение уровня ЛПНП в крови и регулирование уровня глюкозы в крови. Эти эффекты в значительной степени связаны с присутствием растворимых пищевых волокон (β -глюкана) (*Wang et al.*, 2022).

• Миндальное молоко характеризуется относительно высоким содержанием кальция и натрия (около 70 % рекомендуемой суточной нормы), при этом оно отличается низким уровнем углеводов и липидов. Однако его белковая ценность ограничена: миндальное молоко обеспечивает лишь 10 % суточной потребности в белке, тогда как эквивалентный объем коровьего молока способен удовлетворить более 50 % данной потребности. В стандартной порции (100 г) миндального молока содержится $\pm 1,44$ г белка, $\pm 2,68$ г липидов и $\pm 1,42$ г углеводов. Также продукт богат витамином Е, концентрация которого составляет 6,86 мг на 100 г (*Collard et al.*, 2021). Наилучшая стабильность миндального напитка достигается при ультразвуковой обработке (по сравнению с температурной, когда ненасыщенные ЖК миндального продукта могут окисляться и тем самым приобретать прогорклый вкус).

• Рисовое молоко представляет собой растительный напиток, получаемый путем экстракции из вареного коричневого риса и его крахмалистых компонентов. Продукт характеризуется жидкой консистенцией, отсутствием пищевых волокон и низким содержанием белка (всего около 1 г на 250 мл). Коммерчески доступные варианты данного продукта обычно обогащаются кальцием и витаминами для повышения их пищевой ценности (*Wongthaweewatana et al.*, 2021). Средний химический состав рисового напитка включает следующие основные компоненты: белки $\pm 0,6$ %, углеводы $\pm 10,6$ %, сахара $\pm 4,0$ %, липиды $\pm 1,0$ %. Помимо этого рисовый напиток выделяется наличием микроэлементов, таких как селен и магний, которые, как утверждается, оказывают положительное влияние на иммунную систему (*Abou-Dobara et al.*, 2016).

• Конопляное молоко – натуральный напиток с высокой питательной ценностью. Напиток из семян конопли содержит около 0,83–4,00 % белка, 1,25–3,00 % липидов и 2,50–20,00 % углеводов. Однако в молоке из семян конопли общее содержание насыщенных и полиненасыщенных жирных кислот составляет 0,43 и 4,17 % соответственно (*Beşir et al.*, 2022). Соотношение омега-6 и омега-3 ЖК в масле конопли составляет 3 : 1, что практически идеально для организма человека (*Shori et al.*, 2021). В дополнение к преимуществам данного растительного сырья утверждается, что конопляное молоко может быть хорошим переносчиком для пробиотических бактерий, таких как *Lactobacillus rhamnosus* (*Szparaga et al.*, 2019).

Растительные напитки, такие как соевое, овсяное, миндальное, рисовое и конопляное молоко отличаются разнообразными пищевыми свойствами, что делает их выбор подходящим для различных потребностей. В таблице представлен химический состав и питательная ценность популярных растительных напитков.

Таблица. Химический состав и питательная ценность напитков на растительной основе
(*Antunes et al.*, 2022; *Beşir et al.*, 2022; *Ziarno et al.*, 2021)

Table. Chemical composition and nutritional value of plant-based beverages
(*Antunes et al.*, 2022; *Beşir et al.*, 2022; *Ziarno et al.*, 2021)

Показатель	Соевое молоко	Овсяное молоко	Миндальное молоко	Рисовое молоко	Конопляное молоко	Коровье молоко
Содержание белка, %	2,60–3,98	0,40–3,24	0,41–2,40	0,07–0,42	0,83–6,96	2,90–3,32
Содержание липидов, %	1,47–13,92	0,28–12,40	1,04–10,40	0,83–1,20	1,25–18,02	0,08–4,17
Содержание углеводов, %	4,14–5,06	3,33–18,80	0,20–4,40	9,17–12,20	0,30–30,21	3,20–5,40
Содержание клетчатки, %	0,20–0,74	0,80–20,07	0,27–1,60	7,80–12,50	0,00–0,40	Отсутствует
Содержание сахаров, %	0,10–6,25	0,42–10,90	0,16–3,42	2,50–7,02	2,50–3,00	3,38–5,15
Энергетическая ценность (ккал)	43,00–95,00	29,00–103,00	15,20–40,20	47,00–60,00	19,00–53,09	34,00–65,80

На основе представленных в таблице данных можно заключить, что соевое и конопляное молоко демонстрируют наиболее высокие показатели содержания белка (2,60–3,98 % и 0,83–6,96 %) и липидов (1,47–13,92 % и 1,25–18,02 %) среди растительных напитков, в то время как рисовое молоко характеризуется минимальным уровнем данных макронутриентов. В отличие от коровьего молока растительные напитки характеризуются наличием значительного количества пищевых волокон (до 20,07 %), что придает им уникальные функциональные свойства. Пищевые волокна, входящие в состав таких напитков, способствуют улучшению перистальтики ЖКТ и его нормализации. В отношении энергетической ценности следует отметить, что миндальное и конопляное молоко имеют наименьшую калорийность, это особенно актуально для потребителей, ориентированных на здоровое питание.

Технология получения растительных напитков

Традиционный метод производства растительных аналогов молока и других напитков включает в себя предварительное измельчение сырья (мокрый или сухой помол). Предварительно сырье может быть замочено в воде на 1–14 ч или обжарено для повышения стабильности эмульсии, удаления антипитательных веществ (дубильных веществ, фитиновой кислоты, ингибиторов протеаз), улучшения вкуса и ароматики продукта (Vogelsang-O'Dwyer et al., 2021). Процесс измельчения необходим для уменьшения матрикса сырья для последующей экстракции. Процесс дробления традиционно осуществляется в коллоидных мельницах, где горячая вода смешивается с сырьем. Коллоидные мельницы служат для диспергирования твердых частиц в водной среде путем подвергания смеси высокому гидравлическому напряжению, что обеспечивает тонкое измельчение компонентов в жидкой фазе (Bernat et al., 2014). Во время процесса измельчения могут применяться повышенные температуры, что способствует более эффективной экстракции растворимых веществ. Кроме того, это также вызывает желатинизацию крахмала (растворение его в воде), что положительно сказывается на качественных характеристиках продукта (Kulczyk et al., 2023). Различные исследования демонстрируют, что соотношение добавляемой воды при влажном измельчении зависит от типа сырья. Например, для приготовления миндального молока используется гидромодуль 1 : 9 (сырье к воде), для кунжута – 1 : 5, для арахиса – 1 : 9 и для соевых бобов – 1 : 5 (Gogulenko et al., 2023; Sakthi et al., 2020; Trufkati et al., 2021).

Для производства немолочных альтернативных напитков сырье, прошедшее предварительную обработку, экстрагируется водой. Эффективность экстракции может быть повышена за счет физических факторов (изменения pH, температуры) или биохимических за счет использования биологических катализаторов.

Показатель pH при экстракции влияет на эффективность выделения белка и стабильность эмульсии в растительном напитке. Основную фракцию растительных белков составляют глобулины (изоэлектрическая точка (pI) $\approx$ 4,5), второстепенную – альбумины (pI $\approx$ 6). При pH около 5, близким к изоэлектрической точке, белки теряют заряд и могут агрегироваться, снижая стабильность и выпадая в осадок. Для повышения выхода белка рекомендуется экстракция при щелочном pH, что обеспечивает высокий суммарный заряд белков с последующей нейтрализацией.

Высокие температуры при экстракции растительного молока играют важную роль в процессе получения продукта. Они способствуют лучшей растворимости различных соединений, таких как белки, углеводы и жиры, улучшая их переход из растительного сырья в водную фазу. Помимо этого воздействие тепла приводит к желатинизации крахмала, что положительно сказывается на текучести и консистенции напитка, делая его более однородным и приемлемым для потребителей с точки зрения органолептических характеристик. Высокие температуры также помогают инактивировать антипитательные вещества, повышая питательную ценность продукта. Однако чрезмерное нагревание может вызвать денатурацию белков, что снижает их растворимость и функциональные свойства, такие как способность формировать стабильную эмульсию или пену (Bernat et al., 2014; Dhankhar et al., 2021; Silva et al., 2020).

Ферментативная обработка применяется для гидролиза белков и полисахаридов, что способствует увеличению выхода экстракции. Ферменты активно разрушают матрикс клеточной стенки растений, включая целлюлозу, гемицеллюлозу и пектин, тем самым улучшая эффективность процесса экстракции. Повышение выхода белка, природного сахара и масла напрямую зависит от степени разрушения клеточной стенки растительного сырья, что делает ферментативную обработку важным этапом в технологии получения растительных напитков (de Moura et al., 2008). Ферментативная обработка способствует улучшению физических и органолептических свойств продукта. Добавление 1,2 % ферментного препарата Celluclast 1,5 L (Novozymes, Дания) позволяет сделать соевое молоко более устойчивым при хранении, а также делает его консистенцию более густой и приятной на вкус. Целлюлазы в сочетании с амилазами гидролизуют клеточные стенки и крахмал, улучшая фильтрацию и вкусовые характеристики. Зарубежная и отечественная компании Oatly и "Сады Придонья" (бренд NeMoloko) используют ферментативную

обработку для разрушения овсяной клетчатки и крахмального полисахаридного комплекса, что способствует созданию "сливочной" текстуры без добавления стабилизаторов (*Mäkinen et al., 2015*). Кроме того, использование протеолитических ферментов положительно влияет на эффективность экстракции компонентов и предотвращает осаждение частиц в жидкости, обеспечивая стабильность готового продукта.

Самым популярным сырьем для производства альтернативного молока является соя, однако ее белки характеризуются неприятным послевкусием и более низкой усвояемостью по сравнению с животными белками. Научные работы демонстрируют, что ферментативная обработка соевого белкового изолята с помощью протеаз, таких как Alcalase 2.4L FG или Flavourzyme 1000 L (Novozymes, Дания), способствует увеличению процесса расщепления белковых структур на 40–60 %. Это приводит к улучшению консистенции продукта и устранению горького привкуса (*Tian et al., 2020; Rostammiry et al., 2017*).

Овсяные белки (авенины) склонны к образованию агрегатов, что придает напитку специфический "крахмалистый" вкус. Применение нейтральных протеаз Neutrase 0.8 L (Novozymes, Дания) в сочетании с амилазами позволяет разрушить сложные белково-крахмальные комплексы, что значительно улучшает качество напитка. Такая обработка не только повышает выход белка на 25 %, но и положительно влияет на органолептические характеристики продукта (*Deswal et al., 2014*).

Следующим этапом является фильтрация, декантация или центрифугирование на низких оборотах для отделения приготовленного напитка от нерастворимого остатка (частиц сырья). Различные исследования показали, что фильтрующая обработка с помощью декантера или системы непрерывной фильтрации (20–80 мкм) в процессе производства растительных напитков улучшает физическую стабильность молока за счет удаления частиц. В настоящее время мембранная сепарация становится все более популярной, так как она позволяет эффективно отделять водную часть от нерастворимой фракции. В случае производства молока из жирного сырья излишки липидного слоя отделяются с помощью сепаратора, как это делается при переработке молока с помощью сепаратора для сливок.

Для повышения качества растительных заменителей могут использоваться различные добавки, включая витамины, минералы, подсластители, ароматизаторы, соль, масло и стабилизаторы. Чтобы добиться уровня кальция, аналогичного коровьему молоку, растительные напитки обычно обогащаются этим микроэлементом, при этом наиболее распространенным источником является карбонат кальция. Для улучшения структуры и стабильности продукта применяются эмульгаторы, такие как альгинаты, желатин, ксантановая камедь, гуммиарабик и геллановая камедь, которые используются в количествах от 0,5 до 1 %. В частности, для миндального напитка стабильность достигается благодаря сочетанию лецитина, модифицированного крахмала и агара в пропорциях 0,09, 1,31 и 0,15 % соответственно. Общим способом стабилизации также является использование гидроколлоидов, которые помогают уменьшить размер частиц в системе. Добавление минералов может нарушить стабильность эмульсии, поэтому для предотвращения этого эффекта используются хелата, такие как лимонная кислота или ЭДТА. При выборе минералов для обогащения учитываются их растворимость (*Dhankhar et al., 2021; Silva et al., 2020*).

Процесс гомогенизации играет ключевую роль в повышении стабильности растительных напитков, снижая размер коллоидных частиц до диапазона 0,5–30 мкм. При этом изменение вязкости и структуры белковых молекул остается минимальным. Частицы дисперсной фазы, включая белки, крахмал, клетчатку и другие компоненты клеточных матриц, склонны к осаждению. Однако за счет уменьшения их размеров во время гомогенизации, а также благодаря добавлению эмульгаторов или гидроколлоидов, удается эффективно стабилизировать суспензию. Для достижения необходимой стабильности при производстве таких напитков, как рисовое, конопляное или кокосовое молоко, применяются высокие давления в диапазоне 20–60 МПа. Это позволяет предотвратить разделение фаз и обеспечить однородность продукта на протяжении всего срока хранения (*Dhankhar et al., 2021*).

Заключительным этапом производства альтернативного молока является этап термической обработки, в который входит стерилизация: короткая (63–65 °C в течение 30 мин), высокая пастеризация (85–90 °C в течение 5–10 мин) или ультрапастеризация (130–150 °C в течение 2–3 с). Она способствует увеличению срока годности конечного продукта за счет уничтожения всех микроорганизмов (*Jo et al., 2018*). Однако термическая обработка может вызывать изменения свойств белков и витаминов, тем самым влияя на стабильность, вкус, аромат и цвет конечного продукта. При термической обработке растительного напитка неполярные аминокислоты становятся более доступными для взаимодействия с водой, что увеличивает их гидрофобные свойства. Это, в свою очередь, способствует усилению связей между белковыми молекулами, что может вызвать их агрегацию, образование геля или осаждение. В результате такого процесса наблюдается повышение вязкости продукта (*Silva et al., 2020*). На рис. 4 представлена типовая технологическая схема получения напитка на растительной основе.

Из-за недостатков температурной обработки и в качестве ее альтернативы могут использоваться новые технологии по стабилизации конечного продукта. Могут использоваться такие методы, как

микроволновый нагрев, стерилизация высоким давлением, ультрафиолетовая стерилизация, импульсные технологии электрического поля и сверхкритического углекислого газа, а также ультразвук высокой интенсивности.

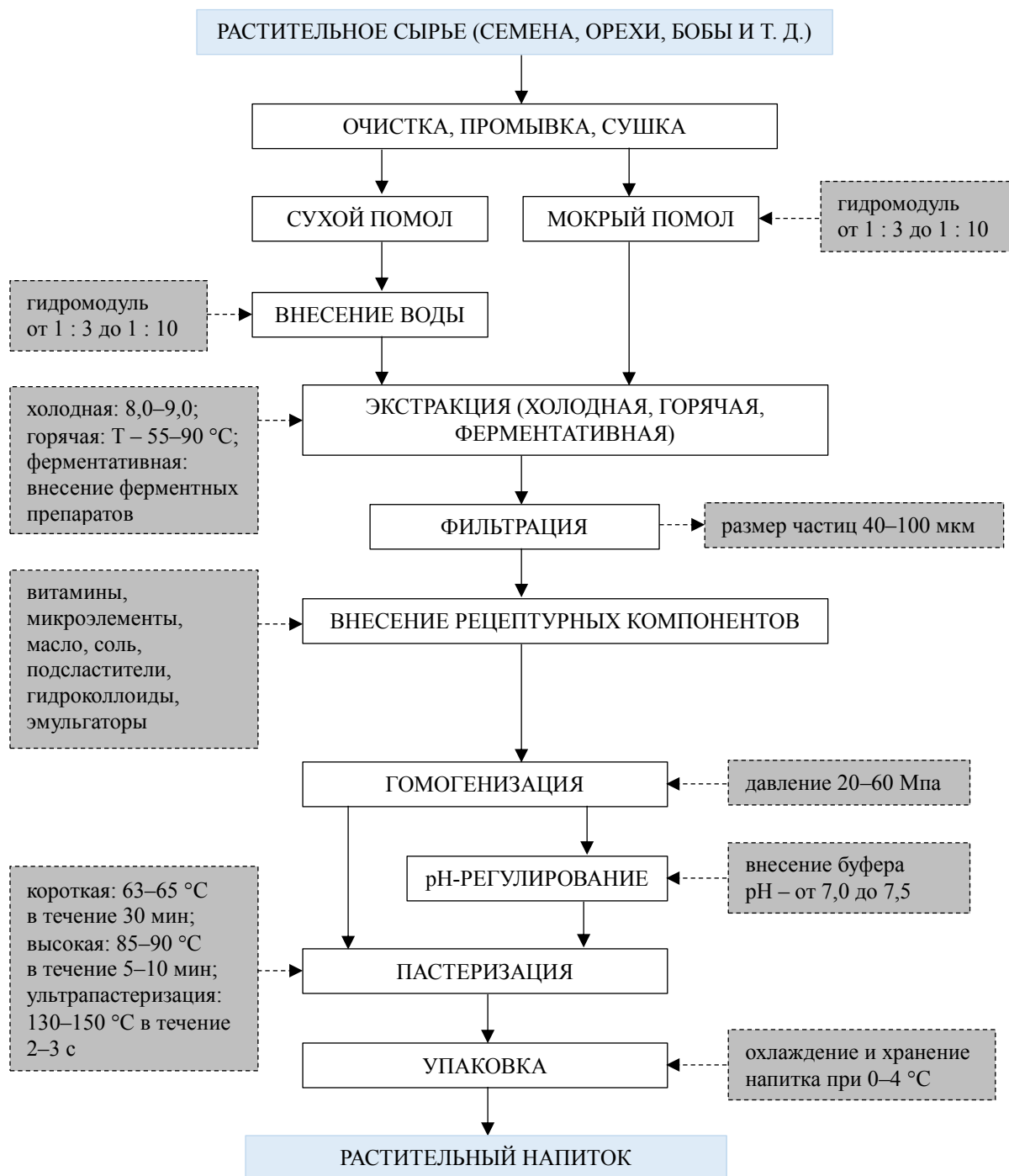


Рис. 4. Стандартная технологическая схема получения альтернативного молока из растительного сырья (Bernat et al., 2014; Bocker et al., 2022; Меренкова и др., 2021)

Fig. 4. Standard technological scheme for the production of alternative milk from plant raw materials (Bernat et al., 2014; Bocker et al., 2022; Merenkova et al., 2021)

Технология гомогенизации при сверхвысоком давлении (УНРН) представляет собой инновационный метод, который позволяет повысить качество растительных молочных заменителей за счет уменьшения размера коллоидных частиц. Данная технология способствует формированию более равномерной дисперсной системы и оптимизации физико-химических свойств продуктов, сохраняя их питательную ценность. При этом УНРН может использоваться для продления срока годности растительных напитков, обеспечивая уничтожение микроорганизмов. Процесс осуществляется при давлении 200–600 МПа и температуре

в диапазоне от 30 до 85 °С, что делает его эффективным технологическим процессом для пищевой промышленности (Dhankhar et al., 2021).

Технология электрического поля также является одной из модифицированных технологий для стабилизации продукта без термической обработки. В этой технологии используются низкие температуры 30–40 °С, что позволяет избежать температурного разложения компонентов в растительном напитке без ухудшения его органолептических свойств. При использовании технологии импульсных электрических полей пищевые продукты подвергаются короткой обработке при помощи мощного электрического тока, длительностью не более 60 с. Формируются интенсивные электрические поля с напряженностью от 5 до 55 кВ на сантиметр, которые действуют импульсным образом (Bocker et al., 2022). Эта технология способствует инактивации ферментов и микроорганизмов в полупродукте.

Ультразвук представляет собой современную технологию, используемую для обработки пищевых продуктов для увеличения срока годности. При воздействии ультразвука возникают локальные области с интенсивным нагревом и высоким давлением, что приводит к разрушению микробных структур и агрегации частиц в коллоидных системах. Существует два основных диапазона ультразвуковых частот, применяемых в пищевой промышленности: низкочастотный (16–100 кГц) и высокочастотный (0,1–1 МГц) (Bocker et al., 2022). Использование высокоинтенсивного ультразвука при переработке растительных напитков помогает сохранить их питательную ценность, одновременно обеспечивая деактивацию естественных ферментов и уничтожение патогенной микрофлоры. Обработка миндального напитка ультразвуком (300 Вт в течение 5 мин) способствует снижению процесса осаждения и вязкости (Maghsoudlou et al., 2016).

Заключение

Непереносимость лактозы является одной из существенных проблем в питании людей по всему миру вне зависимости от пола или региона проживания. Заменители молочных продуктов на растительной основе все больше набирают популярность среди потребителей. Таким образом, растительное сырье и технологии его переработки в продукты питания являются перспективным направлением в пищевой индустрии. Данный тренд стимулирует развитие инновационных технологий переработки растительного сырья и создание продуктов, способных удовлетворить потребности как людей с непереносимостью лактозы, так и сторонников здорового образа жизни. Технологии, основанные на физико-химических и биотехнологических методах обработки, открывают новые возможности для создания продуктов с высокой пищевой ценностью, улучшенными органолептическими характеристиками и функциональными свойствами. Наибольшее преимущество приобретает применение методов биотехнологии в связи с более эффективным выходом целевых компонентов при менее агрессивном влиянии на нативную структуру биомолекул по сравнению с физико-химическими методами экстракции.

Дальнейшее научное исследование будет направлено на разработку технологии получения растительного напитка – заменителя животного молока – из семян конопли с использованием биотехнологических методов биотрансформации водной суспензии семян. В процессе научной работы будут подобраны оптимальные параметры дробления семян, ферментативной экстракции с определением рациональных дозировок ферментных препаратов, а также будет сформирована оптимальная рецептура для улучшения физико-химических и органолептических свойств продукта.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

References

- Abou-Dobara, M. I., Ismail, M. M., Refaat, N. M. 2016. Chemical composition, sensory evaluation and starter activity in cow, soy, peanut and rice milk. *Journal of Nutritional Health & Food Engineering*, 5(3), pp. 634–640.
- Ahsan, F., Imran, M., Gilani, S. A., Bashir, S. et al. 2018. Effects of dietary soy and its constituents on human health: A review. *Biomedical Journal of Scientific & Technical Research*, 12(2), pp. 9182–9187. DOI: <https://doi.org/10.26717/bjstr.2018.12.002239>.
- Antunes, I. C., Bexiga, R., Pinto, C., Roseiro, L. C. et al. 2023. Cow's milk in human nutrition and the emergence of plant-based milk alternatives. *Foods*, 12(1). Article number: 99. DOI: <https://doi.org/10.3390/foods12010099>.
- Asrar, R., Farhan, M. H. R., Ahmad, M., Munir, F. et al. 2023. Lactose intolerance and emerging dairy allergies as public health perspective. *One Health Triad, Unique Scientific Publishers, Faisalabad, Pakistan*, 2, pp. 138–146. DOI: <https://doi.org/10.47278/book.oht/2023.53>.
- Banaszkiewicz, T. 2011. Nutritional value of soybean meal. In *Soybean and Nutrition*. Monograph. Ed. H. El-Shemy. 2011. DOI: <https://doi.org/10.5772/23306>.
- Bernat, N., Cháfer, M., Chiralt, A., González-Martínez, C. 2014. Vegetable milks and their fermented derivative products. *International Journal of Food Studies*, 3(1). DOI: <https://doi.org/10.7455/ijfs/3.1.2014.a9>.
- Beşir, A., Awad, N., Mortaş, M., Yazıcı F. 2022. A plant-based milk type: Hemp seed milk. *Akademik Gıda*, 20(2), pp. 170–181. DOI: <https://doi.org/10.24323/akademik-gida.1149875>.

- Bocker, R., Silva, E. K. 2022. Innovative technologies for manufacturing plant-based non-dairy alternative milk and their impact on nutritional, sensory and safety aspects. *Future Foods*, 5. Article number: 100098. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.fufo.2021.100098>.
- Bórawski, P., Bórawski, M. B., Parzonko, A., Wicki, L. et al. 2021. Development of organic milk production in Poland on the background of the EU. *Agriculture*, 11(4). Article number: 323. DOI: <https://doi.org/10.3390/agriculture11040323>.
- Catanzaro, R., Sciuto, M., Marotta, F. 2021. Lactose intolerance: An update on its pathogenesis, diagnosis, and treatment. *Nutrition Research*, 89, pp. 23–34. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.nutres.2021.02.003>.
- Collard, K. M., McCormick, D. P. 2021. A nutritional comparison of cow's milk and alternative milk products. *Academic Pediatrics*, 21(6), pp. 1067–1069. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.acap.2020.12.007>.
- de Moura, J. M. L. N., Campbell, K., Mahfuz, A., Jung, S. et al. 2008. Enzyme-assisted aqueous extraction of oil and protein from soybeans and cream de-emulsification. *Journal of the American Oil Chemists' Society*, 85(10), pp. 985–995. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11746-008-1282-2>.
- del Carmen Toca M., Fernández A., Orsi M., Tabacco O. et al. 2022. Lactose intolerance: myths and facts. *An update. Archivos Argentinos de Pediatría*, 120(1), pp. 59–66. DOI: <http://dx.doi.org/10.5546/aap.2022.eng.59>.
- Deswal, A., Deora, N. S., Mishra, H. N. 2014. Optimization of enzymatic production process of oat milk using response surface methodology. *Food and Bioprocess Technology*, 7, pp. 610–618. DOI: <http://dx.doi.org/10.1007/s11947-013-1144-2>.
- Dhankhar, J., Kundu, P. 2021. Stability aspects of non-dairy milk alternatives. In *Milk Substitutes-Selected Aspects*. Monograph. Ed.: M. Ziarno. IntechOpen. DOI: <http://dx.doi.org/10.5772/intechopen.96376>.
- Dominici, S., Marescotti, F., Sanmartin, C., Macaluso, M. et al. 2022. Lactose: Characteristics, food and drug-related applications, and its possible substitutions in meeting the needs of people with lactose intolerance. *Foods*, 11(10). Article number: 1486. DOI: <https://doi.org/10.3390/foods11101486>.
- Falbová, D., Švábová, P., Beňuš, R., Hozáková, A. et al. 2025. Association between self-reported lactose intolerance, additional environmental factors, and bone mineral density in young adults. *American Journal of Human Biology*, 37(1). Article number: e24202. DOI: <https://doi.org/10.1002/ajhb.24202>.
- Freitas, T. R., Santos, J. A., Silva, A. P., Fraga, H. 2023. Reviewing the adverse climate change impacts and adaptation measures on almond trees (*Prunus dulcis*). *Agriculture*, 13(7). Article number: 1423. DOI: <https://doi.org/10.3390/agriculture13071423>.
- Gibbs, J., Cappuccio, F. P. 2024. Common nutritional shortcomings in vegetarians and vegans. *Dietetics*, 3(2), pp. 114–128. DOI: <https://doi.org/10.3390/dietetics3020010>.
- Gogulenko, A. V., Egorova, E. Y., Tsyganok, S. N., Kuz'mina, S. S. 2023. Effect of ultrasonic treatment on the characteristics of model emulsion systems based on high-protein vegetable raw materials. *Russian Journal of Applied Chemistry*, 96(2), pp. 218–227. DOI: <https://doi.org/10.1134/s1070427223020132>.
- Vaz Gonçalves G. C., Weis C.M. S. C., Wolff É. R., Alves V. et al. 2025. Vegan fermented drinks as an alternative to milk: Trend or challenge? *Food Science and Engineering*, 6(1). DOI: <https://doi.org/10.37256/fse.6120255396>.
- Hamad, Q. H., Al-Saadi, J. S., Al-Rikabi, A. K. J., Altemimi, A. B. et al. 2023. Exploring the health benefits and functional properties of goat milk proteins. *Food Science & Nutrition*, 11(10), pp. 5641–5656. DOI: <https://doi.org/10.1002/fsn3.3531>.
- Ibrahim, S. A., Gyawali, R., Awaisheh, S. S., Ayivi, R. D. et al. 2021. Fermented foods and probiotics: An approach to lactose intolerance. *Journal of Dairy Research*, 88(3), pp. 357–365. DOI: <https://doi.org/10.1017/S0022029921000625>.
- Jayachandran, M., Xu, B. 2019. An insight into the health benefits of fermented soy products. *Food Chemistry*, 271, pp. 362–371. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2018.07.158>.
- Jo, Y., Benoist, D. M., Barbano, D. M., Drake, M. A. 2018. Flavor and flavor chemistry differences among milks processed by high-temperature, short-time pasteurization or ultra-pasteurization. *Journal of Dairy Science*, 101(5), pp. 3812–3828. DOI: <https://doi.org/10.3168/jds.2017-14071>.
- Kolesnikova, S., Shirokova, N. S., Kushnarenko, S., Panteleeva, N. V. et al. 2024. Estimation of the frequencies of the variant of the genetic LCU rs4988235 (-13910 C > T) associated with lactose intolerance in the Russian Federation. *Health Risk Analysis*, 4, pp. 135–144. DOI: <https://doi.org/10.21668/health.risk/2024.4.12>. (In Russ.) = Колесникова И. С., Широкова Н. С., Кушнаренко В. С., Пантелеева Н. В. [и др.]. Оценка частот генетического варианта LCT rs4988235 (-13910 C > T), связанного с непереносимостью лактозы, в Российской Федерации // Анализ риска здоровью. 2024. № 4. С. 135–144. DOI: <https://doi.org/10.21668/health.risk/2024.4.12>. EDN: ZJPNSX.
- Kongpharm, K., Nakklay, P., Kongtong, C., Tanapumchai, P. et al. 2024. Impacts of people at-risk of either cow milk allergies or lactose intolerance on their daily calcium intake and bone mineral density. *Frontiers in Nutrition*, 11. Article number: 1421275. DOI: <https://doi.org/10.3389/fnut.2024.1421275>.

- Kulczyk, E., Drożdowska-Sobieraj, E., Bartkowiak, A. 2023. Novel milk substitute based on pea, bean and sunflower seeds with natural bioactive stabilisers. *Plants*, 12(12). Article number: 2303. DOI: <https://doi.org/10.3390/plants12122303>.
- Le, M. S., Hermansen, C., Vuong, Q. V. 2025. Oat milk by-product: A review of nutrition, processing and applications of oat pulp. *Food Reviews International*, 41(5), pp. 1538–1575. DOI: <https://doi.org/10.1080/87559129.2025.2450263>.
- Leszczyńska, D., Wirkijowska, A., Gasiński, A., Średnicka-Tober, D. et al. 2023. Oat and oat processed products – technology, composition, nutritional value, and health. *Applied Sciences*, 13(20). Article number: 11267. DOI: <https://doi.org/10.3390/app132011267>.
- Li, A., Zheng, J., Han, X., Jiang, Z. et al. 2023. Health implication of lactose intolerance and updates on its dietary management. *International Dairy Journal*, 140. Article number: 105608. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.idairyj.2023.105608>.
- Maghsoudlou, Y., Alami, M., Mashkour, M., Shahraki, M. H. 2016. Optimization of ultrasound-assisted stabilization and formulation of almond milk. *Journal of Food Processing and Preservation*, 40(5), pp. 828–839. DOI: <http://dx.doi.org/10.1111/jfpp.12661>.
- Mäkinen, O. E., Wanhalinna, V., Zannini, E., Arendt, E. K. 2015. Foods for special dietary needs: Non-dairy plant-based milk substitutes and fermented dairy-type products. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 56(3), pp. 339–349. DOI: <https://doi.org/10.1080/10408398.2012.761950>.
- McClements, D. J., Newman, E., McClements, I. F. 2019. Plant-based milks: A review of the science underpinning their design, fabrication, and performance. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 18(6), pp. 2047–2067. DOI: <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12505>.
- Merenkova, S. P., Tesakova, D. G. 2021. Analysis of the effectiveness of extraction methods for obtaining herbal drinks with optimal properties. *Bulletin of the South Ural State University. Series: Food and Biotechnology*, 9(1), pp. 48–56. DOI: <https://doi.org/10.14529/food210106>. (In Russ.) = Мере́нкова С. П., Тесалова Д. Г. Анализ эффективности методов экстракции для получения растительных напитков с оптимальными свойствами // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Пищевые и биотехнологии. 2021. Т. 9, № 1. С. 48–56. DOI: <https://doi.org/10.14529/food210106>. EDN: RIQRVH.
- Merenkova, S., Fatkullin, R., Kalinina, I. 2022. Effect of fermentation on the biochemical parameters antioxidant capacity and dispersed composition of plant beverages based on barley and hemp seeds. *Fermentation*, 8(8). Article number: 384. DOI: <https://doi.org/10.3390/fermentation8080384>.
- Nikitina, Y. V., Topnikova, E. V. 2024. Modern trends and prospects in new low-lactose and lactose-free products. *Dairy Industry*, 4, pp. 41–49. DOI: <https://doi.org/10.21603/1019-8946-2024-4-8>. (In Russ.) = Никитина Ю. В., Топникова Е. В. Современные тренды в создании низколактозных и безлактозных продуктов // Молочная промышленность. 2024. № 4. С. 41–49. DOI: <https://doi.org/10.21603/1019-8946-2024-4-8>. EDN: ZCJVZK.
- Pandey, S., Poonia, A. 2020. Plant-based milk substitutes: A novel non-dairy source. In: Mishra, P., Mishra, R. R., Adetunji, C. O. (eds) *Monograph. Innovations in Food Technology*. Springer, Singapore, pp. 63–71. DOI: https://doi.org/10.1007/978-981-15-6121-4_6.
- Portocarrero, A. C. M., Lopez-Santamarina, A., Lopez, P. R., Ortega, I. S. I. et al. 2024. Substitutive effects of milk vs. vegetable milk on the human gut microbiota and implications for human health. *Nutrients*, 16(18). Article number: 3108. DOI: <https://doi.org/10.3390/nu16183108>.
- Pratelli, G., Tamburini, B., Badami, G. D., Lo Pizzo, M. et al. 2024. Cow's milk: A benefit for human health? Omics tools and precision nutrition for lactose intolerance management. *Nutrients*, 16(2). Article number: 320. DOI: <https://doi.org/10.3390/nu16020320>.
- Ramsing, R., Santo, R., Kim, B. F., Altema-Johnson, D. et al. 2023. Dairy and plant-based milks: Implications for nutrition and planetary health. *Current Environmental Health Reports*, 10(3), pp. 291–302. DOI: <https://doi.org/10.1007/s40572-023-00400-z>.
- Ratajczak, A. E., Rychter, A. M., Zawada, A., Dobrowolska, A. et al. 2021. Lactose intolerance in patients with inflammatory bowel diseases and dietary management in prevention of osteoporosis. *Nutrition*, 82. Article number: 111043. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.nut.2020.111043>.
- Reyes-Jurado, F., Soto-Reyes, N., Dávila-Rodríguez, M., Lorenzo-Leal, A. C. et al. 2023. Plant-based milk alternatives: Types, processes, benefits, and characteristics. *Food Reviews International*, 39(4), pp. 2320–2351. DOI: <https://doi.org/10.1080/87559129.2021.1952421>.
- Rostamiray, L., Reza Saeidiasl, M., Safari, R., Javadian, R. 2017. Optimization of the enzymatic hydrolysis of soy protein isolate by alcalase and trypsin. *Biosciences Biotechnology Research Asia*, 14(1), pp. 193–200. DOI: <http://dx.doi.org/10.13005/bbra/2435>.
- Sakthi, T. S., Meenakshi, V., Kanchana, S., Vellaikumar, S. 2020. Study on standardisation and quality evaluation of peanut milk by different processing methods. *European Journal of Nutrition & Food Safety*, 12(5), pp. 60–72. DOI: <https://doi.org/10.9734/ejnfs/2020/v12i530228>.

- Shori, A. B., Al Zahrani, A. J. 2021. Non-dairy plant-based milk products as alternatives to conventional dairy products for delivering probiotics. *Food Science and Technology*, 42. Article number: e101321. DOI: <https://doi.org/10.1590/fst.101321>.
- Silva, A. R. A., Silva, M. M. N., Ribeiro, B. D. 2020. Health issues and technological aspects of plant-based alternative milk. *Food Research International*, 131. Article number: 108972. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2019.108972>.
- Szparaga, A., Tabor, S., Kocira, S., Czerwińska, E. et al. 2019. Survivability of probiotic bacteria in model systems of non-fermented and fermented coconut and hemp milks. *Sustainability*, 11(21). Article number: 6093. DOI: <https://doi.org/10.3390/su11216093>.
- Tian, R., Feng, J., Huang, G., Tian, B. et al. 2020. Ultrasound driven conformational and physicochemical changes of soy protein hydrolysates. *Ultrasonics Sonochemistry*, 68. Article number: 105202. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2020.105202>.
- Tomishima, H., Luo, K., Mitchell, A. E. 2022. The almond (*Prunus dulcis*): Chemical properties, utilization, and valorization of coproducts. *Annual Review of Food Science and Technology*, 13(1), pp. 145–166. DOI: <https://doi.org/10.1146/annurev-food-052720-111942>.
- Trufkati, L. V., Kaprelyants, L. V., Pozhitkova, L. G. 2021. Biotechnology of soya multi-component functional ingredients. *Grain Products and Mixed Fodder's*, 21(2), pp. 28–38. DOI: <http://dx.doi.org/10.15673/gpmf.v21i2.2186>.
- Vogelsang-O'Dwyer, M., Zannini, E., Arendt, E. K. 2021. Production of pulse protein ingredients and their application in plant-based milk alternatives. *Trends in Food Science & Technology*, 110, pp. 364–374. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2021.01.090>.
- Wang, X., Ye, A., Dave, A., Singh, H. 2022. Structural changes in oat milk and an oat milk – bovine skim milk blend during dynamic in vitro gastric digestion. *Food Hydrocolloids*, 124, Part B. Article number: 107311. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2021.107311>.
- Wongthaweevatana, I., Srinophakun, T. R., Saramala, I., Kasemwong, K. 2021. Production of milk analogues from rice bran protein hydrolysate using the subcritical water technique. *Food Science and Technology*, 41(3), pp. 722–729. DOI: <https://doi.org/10.1590/fst.16520>.
- Zhou, S., Jia, Q., Cui, L., Dai, Y. et al. 2023. Physical-chemical and sensory quality of oat milk produced using different cultivars. *Foods*, 12(6). Article number: 1165. DOI: <https://doi.org/10.3390/foods12061165>.
- Ziaro, M., Cichońska, P. 2021. Lactic acid bacteria-fermentable cereal- and pseudocereal-based beverages. *Microorganisms*, 9(12). Article number: 2532. DOI: <https://doi.org/10.3390/microorganisms9122532>.

Сведения об авторах

Алексаночкин Денис Игоревич – Волоколамское шоссе, 11, г. Москва, Россия, 125080;
Российский биотехнологический университет (РОСБИОТЕХ), магистр;
e-mail: aleksanochkindi@list.ru, ORCID: <https://orcid.org/0009-0000-7677-6583>

Denis I. Aleksanochkin – 11 Volokolamsk Highway, Moscow, Russia, 125080;
Russian Biotechnological University (ROSBIOTECH), Master Student;
e-mail: aleksanochkindi@list.ru, ORCID: <https://orcid.org/0009-0000-7677-6583>

Семенов Иван Дмитриевич – Волоколамское шоссе, 11, г. Москва, Россия, 125080;
Российский биотехнологический университет (РОСБИОТЕХ), студент;
e-mail: ivansemenov965@gmail.com, ORCID: <https://orcid.org/0009-0004-8208-892X>

Ivan D. Semenov – 11 Volokolamsk Highway, Moscow, Russia, 125080;
Russian Biotechnological University (ROSBIOTECH), Student;
e-mail: ivansemenov965@gmail.com, ORCID: <https://orcid.org/0009-0004-8208-892X>

Фоменко Иван Андреевич – Волоколамское шоссе, 11, г. Москва, Россия, 125080;
Российский биотехнологический университет (РОСБИОТЕХ), канд. техн. наук;
e-mail: fomenkoia@mgupp.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2478-1705>

Ivan A. Fomenko – 11 Volokolamsk Highway, Moscow, Russia, 125080;
Russian Biotechnological University (ROSBIOTECH), Cand. Sci. (Engineering);
e-mail: fomenkoia@mgupp.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2478-1705>

Технология получения пищевых волокон рапса на основе твердого отхода экстракции белков

И. А. Дегтярев*, А. И. Карачун, И. А. Фоменко

**Российский биотехнологический университет (РОСБИОТЕХ), г. Москва, Россия;
e-mail: Ivand152@yandex.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3842-1391>*

Информация о статье

Поступила
в редакцию
18.03.2025;

получена
после доработки
06.05.2025;

принята
к публикации
22.05.2025

Ключевые слова:
жмых рапса, отход
экстракции белка,
пищевые волокна,
отбеливание,
функционально-
технологические
свойства

Реферат

Для повышения потребительских, органолептических и технологических свойств отходов переработки растительного сырья разработаны способы отбеливания, позволяющие значительно осветлить растительные волокна. Оценка эффективности отбеливания волокон рапса с использованием перекиси водорода проводилась визуально. В ходе исследования установлены рациональные параметры процесса отбеливания: концентрация субстрата 10 %, массовая доля перекиси 6 %, температура 80 °С, длительность обработки 6 ч. Пищевые волокна рапса, высушенные в лиофильной сушильной установке, имеют более высокие значения влагосвязывающей (8,27 г воды/г ПВ) и жиросвязывающей (4,35 г масла/г ПВ) способности (на 32 и 23 % соответственно) в сравнении с пищевыми волокнами рапса, высушенными в сушильном шкафу. Пищевые волокна рапса, высушенные в лиофильной сушильной установке, не уступают по величине влаго- и жиросвязывающей способности коммерческому препарату сои (МЭЗ "Амурский"). Анализ химического состава полученных волокон рапса показал, что они содержали меньшее количество сырого протеина, чем соевые волокна (на 60 %), и большее количество сырого протеина, чем пшеничные волокна (на 90 %). Дальнейшие исследования могут быть посвящены изучению влияния волокон рапса на функционально-технологические, реологические и органолептические свойства пищевых продуктов. Способ получения пищевых волокон рапса на основе твердого отхода экстракции белков имеет большой потенциал при организации производства в промышленных масштабах, позволяя предприятиям осуществлять валоризацию продуктов переработки семян рапса.

Для цитирования

Дегтярев И. А. и др. Технология получения пищевых волокон рапса на основе твердого отхода экстракции белков. Вестник МГТУ. 2025. Т. 28, № 3. С. 385–392. DOI: <https://doi.org/10.21443/1560-9278-2025-28-3-385-392>.

Technology for the production of rapeseed dietary fibers based on solid waste from protein extraction

Ivan A. Degtyarev*, Alexandra I. Karachun, Ivan A. Fomenko

**Russian University of Biotechnology (ROSBIOTECH), Moscow, Russia;
e-mail: Ivand152@yandex.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3842-1391>*

Article info

Received
18.03.2025;

received
in revised
06.05.2025;

accepted
22.05.2025

Key words:
rapeseed oilcake,
protein extraction
waste, dietary fiber,
bleaching,
functional
and technological
properties

Abstract

In order to improve the consumer, organoleptic and technological properties of waste from the processing of plant raw materials, bleaching methods have been developed that allow for significant lightening of plant fibers. The efficiency of bleaching rapeseed fibers using hydrogen peroxide has been assessed visually. During the study, rational parameters of the bleaching process have been established: substrate concentration of 10 %, mass fraction of peroxide of 6 %, temperature of 80 °C, processing time of 6 hours. Rapeseed dietary fiber dried in a freeze-drying unit has higher values of moisture-binding (8.27 g water/g PV) and fat-binding (4.35 g oil/g PV) capacity (by 32 and 23 %, respectively) compared to rapeseed dietary fiber dried in a drying cabinet. Rapeseed dietary fiber dried in a freeze-drying unit is not inferior in moisture- and fat-binding capacity to a commercial soybean preparation (Amursky MEZ). Analysis of the chemical composition of the obtained rapeseed fibers has shown that they contain less crude protein than soybean fibers (by 60 %), and more crude protein than wheat fibers (by 90 %). Further research can be devoted to studying the effect of rapeseed fibers on the functional, technological, rheological and organoleptic properties of food products. The method for obtaining rapeseed dietary fiber based on solid protein extraction waste has great potential in organizing production on an industrial scale, allowing enterprises to carry out valorization of rapeseed processing products.

For citation

Degtyarev, I. A. et al. 2025. Technology for the production of rapeseed dietary fibers based on solid waste from protein extraction. *Vestnik of MSTU*, 28(3), pp. 385–392. (In Russ.) DOI: <https://doi.org/10.21443/1560-9278-2025-28-3-385-392>.

Введение

Численность мирового населения к 2050 г. достигнет 9 млрд человек, в связи с чем актуализируется проблема поиска новых сырьевых источников для производства продовольствия с целью удовлетворения базовых биологических потребностей людей (*Sim et al., 2021*).

Одним из важнейших макронутриентов в питании человека является белок. Традиционные источники белка требуют значительных площадей земель и объемов затрачиваемых ресурсов. Для возможного решения проблемы дефицита белка предложены технологии получения белка с использованием исходного растительного сырья и продуктов его переработки. На основе соевых бобов получают соевую муку, белковый концентрат и изолят белка (*Preece et al., 2017*). Среди бобовых культур наибольшее распространение получил горох, белки которого обладают высокой питательной ценностью, низкой аллергенностью и хорошими функционально-технологическими свойствами, преимущественно высокими стабильностью пены и жироземмулирующими свойствами (*Nowacka et al., 2023*). Из злаковых выделяют глютен, зеин и рисовые белки (*Boukid et al., 2020*). Также растительные белки могут быть получены из недорогих вторичных сырьевых ресурсов, включая жмыхи и шроты, о чем свидетельствуют исследования, посвященные использованию отходов переработки масличных культур в качестве источников для производства продуктов питания (*Singh et al., 2022*).

В процессе выделения белков на различных стадиях образуются жидкие и твердые отходы. Жидкие отходы содержат растворимые фракции углеводов и не выпавшие в осадок в ходе изoeлектрического осаждения белки. Примером такого отхода, образующегося в большом количестве на производствах, является соевая сыворотка. Она содержит около 9,5 г/л углеводов и 0,3–3,0 г/л белков (*Chua et al., 2019*). Сыворотка может быть использована в составе ферментационных сред при культивировании различных микроорганизмов. Ферментация соевой сыворотки является наиболее предпочтительным способом ее утилизации, так как она имеет высокий уровень биохимического потребления кислорода (БПК) (8 000–9 800 мг/л) и химического потребления кислорода (ХПК) (17 000–26 000 мг/л), что не позволяет осуществлять ее непосредственный сброс в составе сточных вод (*Irawan et al., 2020*).

Твердые отходы образуются в результате экстракции белков и представлены преимущественно нерастворимыми волокнами, которые не находят целесообразного применения. Пищевые волокна (ПВ) имеют высокую доступность, низкую стоимость и большой потенциал в профилактике различных заболеваний (*Betoret et al., 2011*). Потребление продуктов питания с высоким содержанием пищевых волокон способствует снижению гликемического индекса, нормализации и регуляции роста микроорганизмов ЖКТ, сорбции эндотоксинов и подавлению канцерогенов, регуляции уровня холестерина в крови и снижению веса (*Han et al., 2017*). Использование волокон, образующихся в ходе экстракции белков, в пищевой промышленности ограничено их внешним видом, чаще всего они имеют темный цвет и непривлекательные органолептические свойства.

Для повышения потребительских, органолептических и технологических свойств отходов переработки растительного сырья разработаны способы отбеливания, позволяющие значительно осветлить растительные волокна. Наиболее простым и экономически целесообразным способом для внедрения в производство является отбеливание с помощью перекиси водорода. В научной литературе описаны условия отбеливания женьшеня 17%-м раствором перекиси водорода при уровне pH 11,0 в течение 30 мин при комнатной температуре, что позволяет примерно на 30 % увеличить водо- и жиросвязывающие способности, а также улучшить цветовые характеристики и повысить пористость (*Jiang et al., 2021*). Разработан способ отбеливания отработанной пивной дробины при концентрации перекиси водорода 5 % при температуре 70 °C в течение 40 мин и уровне pH 12–12,5 (*Mussatto et al., 2008*). Описан процесс отбеливания льняной муки при концентрациях перекиси водорода 1–3 %, уровне pH 3, 7 и 9 в течение 10–30 мин (*Aider et al., 2012*). В ходе исследования было отмечено изменение цвета льняной муки с коричневого до светло-желтого, также отбеливание позволило снизить содержание фенолов, однако не до конца изучено влияние перекиси водорода на содержание незаменимых аминокислот.

Рапс является одной из наиболее широко используемых масличных культур; ежегодно в мире производится примерно 70 млн т рапса (*Raboanatahiry et al., 2021*). В процессе переработки рапса образуется масло и побочные продукты – жмых и шрот; остаточное содержание белка в них составляет около 35–45 % (*Arntfield et al., 2011*). На основе жмыха и шрота были разработаны и интегрированы в промышленное производство технологии получения белков рапса, а продукция зарегистрирована под коммерческими названиями Supertein™, Puratein, Isolexx и Vitalexx (*Raboanatahiry et al., 2021*). Однако отсутствуют технологические решения, позволяющие получать пищевые ингредиенты на основе отходов, образующихся в ходе получения белковых препаратов рапса, в частности пищевых волокон из отработанного жмыха после экстракции белка.

Целью настоящего исследования являлось определение параметров отбеливания твердого отхода экстракции белков рапса с использованием перекиси водорода для получения пищевых волокон.

Материалы и методы

В исследовании использовали твердый отход экстракции белков рапса, полученный согласно патенту № 2815553 посредством последовательного обезжиривания гексаном, кислотной экстракции белков, ферментативной деструкции некрахмальных полисахаридов жмыха рапса и щелочной экстракции белков (Degtyarev *et al.*, 2024).

Для сравнения качественных показателей в работе использовали коммерческие препараты пищевых волокон сои (МЭЗ "Амурский", Россия) и пшеницы "Биоцель XL200" ("Биофабрика", Россия), являющиеся традиционными добавками при производстве мясных и колбасных изделий.

Отбеливание пищевых волокон рапса осуществляли путем приготовления 10- и 15%-й водной суспензии при массовой доле перекиси водорода 2, 4 и 6 %, температуре 70, 80 и 90 °С в течение 2–6 ч. По окончании отбеливания пищевых волокон проводили центрифугирование при 4 000 об/мин в течение 20 мин, промывку двумя объемами дистиллированной воды и повторное центрифугирование при тех же условиях.

Определение содержания сырого протеина выполнялось по ГОСТ 13496.4-2019¹; сырой клетчатки – по ГОСТ 31675-2012²; сухих веществ – по ГОСТ 31640-2012³.

Высушивание пищевых волокон рапса осуществляли в сушильном шкафу ШС-80-01-СПУ ("Смоленское СКТБ СПУ", Россия) при 70 °С в течение 24 ч и в лиофильной сушильной установке ProfLyo T50.6 ("Профлаб", Россия). Лيوфильное высушивание состояло из 4 этапов: замораживание образца, вакуумирование, сублимация и десорбция (повышение температуры и одновременное понижение давления в камере). Основные этапы и условия лиофильного высушивания представлены в табл. 1.

Таблица 1. Этапы и условия лиофильного высушивания пищевых волокон
Table 1. Stages and conditions of lyophilic drying of dietary fibers

Условие высушивания	Этап 1	Этап 2	Этап 3	Этап 4
Длительность	2 ч	10 ч	8 ч	15 мин
Давление в камере, мбар	6,00	1,50	0,50	0,10

Водосвязывающую способность (ВСС) образцов пищевых волокон определяли как количество воды, удерживаемое образцом после центрифугирования (Stone *et al.*, 2015). Для этого отбирали 0,5 г пищевых волокон, добавляли 5 см³ дистиллированной воды. Суспензию перемешивали в течение 30 мин, после чего центрифугировали при 1 000 г в течение 15 мин. Значение ВСС определяли по формуле

$$\text{ВСС} = \frac{(a - c)}{(b - c)} 100, \quad (1)$$

где ВСС – водосвязывающая способность, %; a – масса гидратированного образца с центрифужной пробиркой, г; b – масса сухой навески с центрифужной пробиркой, г; c – масса центрифужной пробирки, г.

Для определения значения жиросвязывающей способности (ЖСС) пищевых волокон отбирали 0,5 г образца, смешивали с 5 см³ подсолнечного масла, перемешивали в течение 30 мин, затем центрифугировали при 1 000 г в течение 5 мин (Stone *et al.*, 2015). Значение ЖСС определяли по формуле

$$\text{ЖСС} = \frac{(a - c)}{(b - c)} 100, \quad (2)$$

где ЖСС – жиросвязывающая способность, %; a – масса навески с центрифужной пробиркой после отделения фугата, г; b – масса сухой навески с центрифужной пробиркой, г; c – масса центрифужной пробирки, г.

Результаты и обсуждение

Отбеливание пищевых волокон осуществляли с использованием перекиси водорода в щелочных условиях. Экстракцию белков рапса проводили при уровне pH 9,0 (Degtyarev *et al.*, 2024). У водной суспензии твердого отхода экстракции pH составляет около 8,5–9,0 в зависимости от концентрации пищевых волокон рапса. В исследовании изучали влияние концентрации субстрата на эффективность отбеливания пищевых волокон рапса при различном содержании перекиси водорода в суспензии, температуры и длительности обработки. Для корректировки pH использовали 20%-й раствор NaOH.

¹ ГОСТ 13496.4-2019. Корма, комбикорма, комбикормовое сырье. Методы определения содержания азота и сырого протеина. М. : Изд-во стандартов, 2019. 20 с.

² ГОСТ 31675-2012. Корма. Методы определения содержания сырой клетчатки с применением промежуточной фильтрации. М. : Изд-во стандартов, 2020. 12 с.

³ ГОСТ 31640-2012. Корма. Методы определения содержания сухого вещества. М. : Изд-во стандартов, 2020. 11 с.

Оценку эффективности отбеливания пищевых волокон проводили по условной шкале, где знак "+++" соответствует белым волокнам, "++" – волокнам светло-желтого цвета, "+" – отбеленным волокнам, имеющим темный цвет, "-" – неотбеленным волокнам. В табл. 2 представлены результаты отбеливания пищевых волокон рапса при концентрации субстрата 15 %.

Из данных, представленных в табл. 2, следует, что концентрация субстрата 15 % не позволяет получить светлые пищевые волокна. Волокна светло-желтого цвета были получены при массовой доле перекиси 6 %, температуре отбеливания 80 °С в течение 6 ч и при 90 °С в течение 4 и 6 ч.

Таблица 2. Визуальная оценка эффективности отбеливания пищевых волокон рапса при концентрации субстрата 15 %
Table 2. Visual assessment of the effectiveness of bleaching of rapeseed dietary fibers at a substrate concentration of 15 %

Массовая доля перекиси водорода, %	Температура отбеливания, °С	Длительность отбеливания, ч	Визуальная оценка пищевых волокон
2	70	2	–
		4	–
		6	–
	80	2	–
		4	–
		6	–
	90	2	–
		4	–
		6	–
4	70	2	–
		4	–
		6	–
	80	2	–
		4	–
		6	–
	90	2	–
		4	+
		6	+
6	70	2	–
		4	–
		6	+
	80	2	+
		4	+
		6	++
	90	2	+
		4	++
		6	++

Для проведения отбеливания осуществляли приготовление водной суспензии пищевых волокон, ее нагрев до соответствующей температуры и периодическое внесение 37 % перекиси водорода марки А до заданной массовой доли в суспензии. При внесении сразу всего необходимого объема перекиси будет происходить обильное и трудно контролируемое пенообразование, сопровождающееся уносом продукта, ввиду чего такой способ подачи перекиси не является рациональным.

Однако при концентрации субстрата 10 % были получены пищевые волокна белого цвета с массовой долей перекиси водорода 6 %, температуре отбеливания 80 °С в течение 6 ч и температуре отбеливания 90 °С в течение 2, 4 и 6 ч (табл. 3). Отбеливание пищевых волокон рапса целесообразно осуществлять при концентрации субстрата 10 %, массовой доле перекиси водорода 6 %, температуре отбеливания 80 °С в течение 6 ч.

Далее проводили подбор способа высушивания пищевых волокон рапса. Сушка образцов осуществлялась в сушильном шкафу на поддонах при температуре 70 °С и в лиофильной сушильной установке с предварительным замораживанием в течение 2 ч.

В ходе высушивания пищевых волокон в сушильном шкафу образовывалась твердая корка, которая затрудняла дальнейший процесс сушки и могла являться причиной снижения их функционально-технологических свойств (водо- и жиросвязывающей способности).

Таблица 3. Визуальная оценка эффективности отбеливания пищевых волокон рапса при концентрации субстрата 10 %
Table 3. Visual assessment of the effectiveness of bleaching of rapeseed dietary fibers at a substrate concentration of 10 %

Массовая доля перекиси водорода, %	Температура отбеливания, °C	Длительность отбеливания, ч	Визуальная оценка пищевых волокон
2	70	2	—
		4	—
		6	—
	80	2	—
		4	—
		6	—
	90	2	—
		4	+
		6	+
4	70	2	—
		4	—
		6	+
	80	2	—
		4	+
		6	++
	90	2	+
		4	++
		6	++
6	70	2	+
		4	+
		6	++
	80	2	+
		4	++
		6	+++
	90	2	+++
		4	+++
		6	+++

В случае использования лиофильной сушильной установки удастся получить однородные пищевые волокна без корки; также отмечены нейтральные органолептические свойства пищевых волокон рапса после отбеливания в сравнении с исходным твердым отходом экстракции, для которого характерен растительный аромат и привкус. Внешний вид пищевых волокон рапса до и после отбеливания, высушенных в лиофильной сушильной установке, представлен на рис. 1.



Рис. 1. Внешний вид исходных и отбеленных пищевых волокон, высушенных в лиофильной сушильной установке
Fig. 1. Appearance of the raw and bleached dietary fibers dried in a freeze-drying unit

В настоящее время большое значение растительные волокна имеют в пищевой промышленности. Рекомендуемая суточная норма потребления пищевых волокон в Европе составляет 25 г, а в России этот показатель составляет 20–25 г/сут согласно МР 2.3.1.0253-21⁴, при этом рацион значительной части населения не может удовлетворить эту потребность (EFSA..., 2010). Их включение в рецептуры мясных и колбасных изделий позволяет улучшить функционально-технологические свойства, стабилизировать структуру продукта в процессе замораживания или дефростации, а также снизить потерю массы при приготовлении (Mishra et al., 2023). Особое внимание уделяется способам снижения содержания холестерина в мясных изделиях, что может быть достигнуто за счет включения пищевых волокон в их рецептуры (Younis et al., 2022). Было отмечено, что использование муки из проса в рецептуре мясных котлет позволило снизить процент усадки и увеличить высоту подъема в ходе тепловой обработки (Kumar et al., 2015). Аналогичные эффекты наблюдались при использовании пшеничной муки в составе куриных наггетсов, бобовой муки в говяжьих сосисках и соевой муки в котлетах для гамбургеров (Talukder, 2015). Полученные результаты объясняются более высокой водо- и жиросвязывающей способностью мясных изделий с добавлением источников пищевых волокон.

Оценка химического состава, а также значений ВСС и ЖСС пищевых волокон рапса, высушенных в сушильном шкафу и с использованием лиофильной сушильной установки, проведена в сравнении с коммерческими препаратами пищевых волокон сои (МЭЗ "Амурский", Россия) и пшеницы "Биоцель XL200" ("Биофабрика", Россия). Результаты сравнения отражены в табл. 4.

Как было отмечено, пищевые волокна рапса, высушенные в сушильном шкафу, покрываются твердой коркой. Значение ВСС для ПВ рапса, полученных данным способом высушивания, составило 6,25 г воды/г ПВ, ЖСС – 3,52 г масла/г ПВ. Однако для ПВ рапса, высушенных в лиофильной сушильной установке, значение ВСС было выше на 32 %, а ЖСС – на 23 % и составило 8,27 г воды/г ПВ и 4,35 г масла/г ПВ соответственно.

Таблица 4. Сравнение химического состава, ВСС и ЖСС пищевых волокон рапса с коммерческими препаратами пищевых волокон сои и пшеницы
Table 4. Comparison of the chemical composition, moisture-binding and fat-binding capacity of rapeseed dietary fibers with commercial preparations of soy and wheat dietary fibers

Влажность, %	Сырой протеин, % от массы ПВ	Сырая клетчатка, % от массы ПВ	Сырой жир, % от массы ПВ	Зола, % от массы ПВ	ВСС, г воды/г ПВ	ЖСС, г масла/г ПВ
Пищевые волокна рапса, высушенные в сушильном шкафу при 70 °С						
8,35 ± 0,20	11,79 ± 0,29	74,00 ± 1,85	0,68 ± 0,05	5,18 ± 0,12	6,25	3,52
Пищевые волокна рапса, высушенные в лиофильной сушильной установке						
7,58 ± 0,19	11,53 ± 0,28	75,04 ± 1,87	0,69 ± 0,05	5,16 ± 0,13	8,27	4,35
Пищевые волокна сои (МЭЗ "Амурский")						
7,63 ± 0,19	18,68 ± 0,46	67,31 ± 1,68	0,58 ± 0,02	5,8 ± 0,14	8,98	4,98
Пищевые волокна пшеницы "Биоцель XL200"						
8,54 ± 0,21	1,14 ± 0,11	84,57 ± 1,93	0,21 ± 0,06	5,54 ± 0,13	9,42	5,18

ПВ рапса, высушенные в лиофильной сушильной установке, незначительно уступают по величине ВСС и ЖСС коммерческому препарату сои (МЭЗ "Амурский"). При этом ПВ пшеницы "Биоцель XL200" превосходит ПВ рапса по ВСС на 14 % и ЖСС – на 19 %. Также было определено, что образцы пищевых волокон рапса содержали меньшее количество сырого протеина, чем соевые волокна (примерно на 60 %) и пищевые волокна пшеницы (на 90 %).

Заключение

В рамках проведенного исследования:

- определены условия отбеливания твердого отхода экстракции белков из жмыха рапса с использованием перекиси водорода, позволяющие значительно улучшить его цветные характеристики, а также получить пищевые волокна с высокими значениями ВСС, ЖСС и нейтральными органолептическими свойствами;
- рассчитаны рациональные параметры отбеливания: концентрация субстрата 10 %, массовая доля перекиси водорода 6 %, температура отбеливания 80 °С, длительность обработки 6 ч;
- установлено, что сушку отбеленных пищевых волокон рапса целесообразно осуществлять с использованием лиофильной сушильной установки. Значение ВСС при данном способе высушивания составило 8,27 г воды/г ПВ, ЖСС – 4,35 г масла/г ПВ, т. е. увеличилось на 32 и 23 % соответственно в сравнении с ПВ рапса, высушенными в сушильном шкафу.

⁴ Методические рекомендации МР 2.3.1.0253-21. Нормы физиологических потребностей в энергии и пищевых веществах для различных групп населения Российской Федерации. Утв. Федеральной службой по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека 22 июля 2021 г. Москва : Роспотребнадзор, 2021. 72 с.

Дальнейшие исследования могут быть посвящены изучению технологии включения пищевых волокон рапса в рецептуры мясных изделий и их влияния на функционально-технологические, реологические и органолептические свойства данных продуктов. Способ получения ПВ рапса на основе твердого отхода экстракции белков имеет большой потенциал при организации производства в промышленных масштабах, позволяя предприятиям осуществлять валоризацию продуктов переработки семян рапса.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

References

- Aïder, M., Martel, A. A., Ferracci, J., de Halleux, D. 2012. Purification of whole brown flaxseed meal from coloring pigments by treatment in hydrogen peroxide solutions: Impact on meal color. *Food and Bioprocess Technology*, 5, pp. 3051–3065. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11947-011-0632-5>.
- Arntfield, S., Hickling, D. 2011. Meal nutrition and utilization. In: *Canola: Chemistry, production, processing, and utilization*. Eds: Daun J. K., Eskin N. A. M., Hickling D., AOCS Press, Urbana, IL, pp. 281–312. DOI: <https://doi.org/10.1016/B978-0-9818936-5-5.50014-0>.
- Betoret, E., Betoret, N., Vidal, D., Fito, P. 2011. Functional foods development: Trends and technologies. *Trends in Food Science & Technology*, 22(9), pp. 498–508. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2011.05.004>.
- Boukid, F., Rosene, S. 2020. Grain proteins: Challenges and solutions in developing consumer-relevant foods. *Cereal Foods World (CFW)*, 65(6). DOI: <https://doi.org/10.1094/CFW-65-6-0062>.
- Chua, J. Y., Liu, S. Q. 2019. Soy whey: More than just wastewater from tofu and soy protein isolate industry. *Trends in Food Science & Technology*, 91, pp. 24–32. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2019.06.016>.
- Degtyarev, I. A., Fomenko, I. A., Ivanova, L. A., Mizheva, A. A. et al. Russian University of Biotechnology. 2023. Method of obtaining protein isolate from rapeseed cake, Russian Federation, Pat. 2815553. (In Russ.) = Способ получения изолята белка из жмыха рапса : пат. 2815553, Рос. Федерация / И. А. Дегтярев, И. А. Фоменко, Л. А. Иванова, А. А. Мижева [и др.] ; № 2023121367; заявл. 16.08.2023; опубл. 18.03.2024, Бюл. № 8.
- EFSA Panel on Dietetic Products, Nutrition, and Allergies (NDA). 2010. *Scientific opinion on dietary reference values for carbohydrates and dietary fibre*. *EFSA Journal*, 8(3), pp. 1462. DOI: <https://doi.org/10.2903/j.efsa.2010.1462>.
- Han, W., Ma, S., Li, L., Wang, X. X. et al. 2017. Application and development prospects of dietary fibers in flour products. *Journal of Chemistry*, 2017(1). Article ID: 2163218. DOI: <https://doi.org/10.1155/2017/2163218>. (Special Issue: Dietary Fiber: Chemistry, Structure, and Properties).
- Irawan, C., Yuniar, S., Khotimah, H., Nata, I. F. et al. 2020. High adsorption capacity of activated carbon from rubber seed shells on tofu (soybean whey) wastewater. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 499. Article number: 012009. DOI: <https://doi.org/10.1088/1755-1315/499/1/012009>. (International Symposium on Wetlands Environmental Management 5–7 November 2019, Banjarbaru, Indonesia).
- Jiang, G., Bai, X., Wu, Z., Li, S. et al. 2021. Modification of ginseng insoluble dietary fiber through alkaline hydrogen peroxide treatment and its impact on structure, physicochemical and functional properties. *LWT*, 150. Article number: 111956. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2021.111956>.
- Kumar, D., Chatli, M. K., Mehta, N., Verma, A. K. et al. 2015. Quality evaluation of chevon patties fortified with dietary fibre. *Indian Journal of Small Ruminants (The)*, 21(1), pp. 85–91. DOI: <http://dx.doi.org/10.5958/0973-9718.2015.00040.9>.
- Mishra, B. P., Mishra, J., Paital, B., Rath, P. K. et al. 2023. Properties and physiological effects of dietary fiber-enriched meat products: A review. *Frontiers in Nutrition*, 10. Article number: 1275341. DOI: <https://doi.org/10.3389/fnut.2023.1275341>.
- Mussatto, S. I., Rocha, G. J. M., Roberto, I. C. 2008. Hydrogen peroxide bleaching of cellulose pulps obtained from brewer's spent grain. *Cellulose*, 15, pp. 641–649. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10570-008-9198-4>.
- Nowacka, M., Trusinska, M., Chraniuk, P., Drudi, F. et al. 2023. Developments in plant proteins production for meat and fish analogues. *Molecules*, 28(7). Article number: 2966. DOI: <https://doi.org/10.3390/molecules28072966>.
- Preece, K. E., Hooshyar, N., Zuidam, N. J. 2017. Whole soybean protein extraction processes: A review. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 43, pp. 163–172. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2017.07.024>.
- Rabonatahiry, N., Li, H., Yu, L., Li, M. 2021. Rapeseed (*Brassica napus*): Processing, utilization, and genetic improvement. *Agronomy*, 11(9). Article number: 1776. DOI: <https://doi.org/10.3390/agronomy11091776>.
- Sim, S. Y. J., SRV, A., Chiang, J. H., Henry, C. J. 2021. Plant proteins for future foods: A roadmap. *Foods*, 10(8). Article number: 1967. DOI: <https://doi.org/10.3390/foods10081967>.
- Singh, R., Langyan, S., Sangwan, S., Rohtagi, B. et al. 2022. Protein for human consumption from oilseed cakes: A review. *Frontiers in Sustainable Food Systems*, 6. Article number: 856401. DOI: <https://doi.org/10.3389/fsufs.2022.856401>.

- Stone, A. K., Karalash, A., Tyler, R. T., Warkentin, T. D. et al. 2015. Functional attributes of pea protein isolates prepared using different extraction methods and cultivars. *Food Research International*, 76, Part 1, pp. 31–38. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2014.11.017>.
- Talukder, S. 2015. Effect of dietary fiber on properties and acceptance of meat products: A review. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 55(7), pp. 1005–1011. DOI: <https://doi.org/10.1080/10408398.2012.682230>.
- Younis, K., Yousuf, O., Qadri, O. S., Jahan, K. et al. 2022. Incorporation of soluble dietary fiber in comminuted meat products: Special emphasis on changes in textural properties. *Bioactive Carbohydrates and Dietary Fibre*, 27. Article number: 100288. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.bcdf.2021.100288>.

Сведения об авторах

Дегтярев Иван Александрович – Волоколамское шоссе, 11, г. Москва, Россия, 125080;
Российский биотехнологический университет (РОСБИОТЕХ), аспирант;
e-mail: Ivand152@yandex.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3842-1391>

Ivan A. Degtyarev – 11 Volokolamsk Highway, Moscow, Russia, 125080;
Russian University of Biotechnology (ROSBIOTECH), PhD Student;
e-mail: Ivand152@yandex.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3842-1391>

Карачун Александра Игоревна – Волоколамское шоссе, 11, г. Москва, Россия, 125080;
Российский биотехнологический университет (РОСБИОТЕХ), бакалавр;
e-mail: alexandra155@mail.ru, ORCID: <https://orcid.org/0009-0001-2137-762X>

Alexandra I. Karachun – 11 Volokolamsk Highway, Moscow, Russia, 125080;
Russian University of Biotechnology (ROSBIOTECH), Bachelor;
e-mail: alexandra155@mail.ru, ORCID: <https://orcid.org/0009-0001-2137-762X>

Фоменко Иван Андреевич – Волоколамское шоссе, 11, г. Москва, Россия, 125080;
Российский биотехнологический университет (РОСБИОТЕХ), канд. техн. наук, доцент;
e-mail: iv.fomenko@mail.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2478-1705>

Ivan A. Fomenko – 11 Volokolamsk Highway, Moscow, Russia, 125080;
Russian University of Biotechnology (ROSBIOTECH), Cand. Sci. (Engineering), Associate Professor;
e-mail: iv.fomenko@mail.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2478-1705>

УДК 637.522

Разработка рецептуры и технологии мясного пудинга из регионального нетрадиционного сырья

М. В. Доржиева*, И. В. Хамаганова

*Восточно-Сибирский государственный университет технологий и управления, г. Улан-Удэ, Россия;
e-mail: dorzhiavam1994@mail.ru, ORCID: <https://orcid.org/0009-0002-0319-5213>

Информация о статье

Поступила
в редакцию
23.04.2025;

принята
к публикации
30.05.2025

Ключевые слова:

региональное сырье,
конина,
папоротник орляк,
пудинг,
потребительские
свойства,
здоровое питание

Реферат

Производство продуктов в соответствии с современными требованиями науки о здоровом питании обеспечивается использованием альтернативных источников биологически активных веществ. Большой технологический потенциал имеет локальное продовольственное сырье. Мясо лошадей бурятской породы отличается высоким содержанием полноценного белка и низким уровнем жиров. Овощ-растение орляк – источник пищевых волокон, клетчатки, пектина, лигнина и сахаров; в его составе присутствуют различные макро- и микроэлементы, витамины А, С, группы В, бета-каротин, органические кислоты, линолевая и пальмитиновая жирные кислоты. Одним из новых направлений промышленной переработки конины и жеребятины является производство мясорастительной приготавливаемой на пару кулинарной продукции с нежной консистенцией. В ходе исследований научно обоснована технология производства мясного пудинга из нетрадиционного диетического вида мяса (конины) с добавлением ценного дикороса [папоротника орляка *Pteridium aquilinum* (L.) Kuhn]. Полученный продукт характеризуется высокой пищевой и биологической ценностью, обладает отличными органолептическими свойствами, сбалансированным химическим составом: массовая доля белка в изделиях составляет 10 %, жира – 9,6 %, углеводов – 2 %. Мясной пудинг из регионального нетрадиционного сырья, характеризующийся высокими потребительскими свойствами, рекомендован для массового потребления.

Для цитирования

Доржиева М. В. и др. Разработка рецептуры и технологии мясного пудинга из регионального нетрадиционного сырья. Вестник МГТУ. 2025. Т. 28, № 3. С. 393–402. DOI: <https://doi.org/10.21443/1560-9278-2025-28-3-393-402>.

Development of a recipe and technology for meat pudding from regional non-traditional raw materials

Mariya V. Dorzhieva*, Inga V. Khamaganova

*East Siberia State University of Technology and Management, Ulan-Ude, Russia;
e-mail: dorzhiavam1994@mail.ru, ORCID: <https://orcid.org/0009-0002-0319-5213>

Article info

Received
23.04.2025;

accepted
30.05.2025

Key words:

regional raw materials,
horse meat,
bracken fern,
pudding,
consumer properties,
healthy nutrition

Abstract

The production of food products in accordance with modern requirements of healthy nutrition is ensured by the use of alternative sources of biologically active substances. Local food raw materials have great technological potential. The meat of the Buryat horse breed is distinguished by a high content of complete protein and a low level of fat. The vegetable plant bracken is a source of dietary fiber, cellulose, pectin, lignin and sugars; it contains various macro- and microelements, vitamins A, C, group B, beta-carotene, organic acids, linoleic and palmitic fatty acids. One of the new areas of industrial processing of horse meat and foal meat is the production of steamed meat and vegetable culinary products with a delicate consistency. The research has scientifically substantiated the technology of producing meat pudding from an unconventional dietary type of meat (horse meat) with the addition of a valuable wild plant [bracken fern *Pteridium aquilinum* (L.) Kuhn]. The resulting product is characterized by high nutritional and biological value, has excellent organoleptic properties, balanced chemical composition: the mass fraction of protein in the products is 10 %, fat – 9.6 %, carbohydrates – 2 %. Meat pudding from regional non-traditional raw materials characterized by high consumer properties is recommended for mass consumption.

For citation

Dorzhieva, M. V. et al. 2025. Development of a recipe and technology for meat pudding from regional non-traditional raw materials. *Vestnik of MSTU*, 28(3), pp. 393–402. (In Russ.) DOI: <https://doi.org/10.21443/1560-9278-2025-28-3-393-402>.

Введение

В настоящее время в Бурятии активно развивается традиционная отрасль животноводства – коневодство. По данным территориального органа Федеральной службы государственной статистики, в Республике Бурятия в 2023 г. содержалось 52,6 тысяч лошадей, что на 0,2 % больше аналогичного периода предшествующего года. По поголовью лошадей Бурятия в Дальневосточном федеральном округе занимает третье место [после Республики Саха (Якутия) и Забайкальского края], в Российской Федерации – седьмое место (Базарон и др., 2024).

Средний объем потребления населением Бурятии мяса и мясопродуктов равен 62 кг/год/чел.¹ Существенная доля в этом объеме приходится на конину, поэтому возникает необходимость расширения ассортиментной линейки продуктов из данного диетически ценного вида мяса и обеспечения при этом баланса пищевых веществ животного и растительного происхождения.

Бурятия славится разнообразием флоры, представленной множеством лекарственных и пищевых видов растений. Одним из перспективных для использования в рецептурах продуктов растительным сырьем является папоротник орляк *Pteridium aquilinum* (L.) Kuhn. Этот дикорос пользуется популярностью в республике, применяется для массовых заготовок и представляет собой ценный экспортный продукт. В последние годы значительно возрос интерес к растению как эффективному средству в традиционной медицине, сырьевому компоненту в пищевой промышленности. В многочисленных исследованиях отмечается возможность использования орляка для создания разнообразных функциональных продуктов с улучшенными питательными характеристиками (Гуз и др., 2024; Кузнецова и др., 2020; Купчак и др., 2020; Мельникова и др., 2015; Хамаганова и др., 2020; Черемных и др., 2023; Dion et al., 2015).

В Бурятии отмечается низкое потребление населением продуктов группы "Овощи и продовольственные бахчевые культуры" (среднедушевое потребление на 55 % ниже рекомендуемых норм)², и в этой связи актуализируется проблема создания мясных продуктов с использованием растительного сырья.

Анализ научно-технической литературы и патентной информации показал, что в настоящее время достаточно популярны мясные пудинги (Андреева и др., 2024). Мясной пудинг считается традиционным блюдом английской кухни, основными ингредиентами которого являются говядина, говяжьи почки и нутряной жир.

Мясные пудинги изготавливают в основном из традиционных видов сырья, однако возможно использование и нетрадиционного сырья, что позволит расширить ассортимент мясной продукции общественного питания массового изготовления.

Целью комплексных исследований являлась разработка рецептуры и технологии мясного пудинга из диетического вида мяса (конины, жеребятины) и богатого биологически активными веществами дикороса (папоротника орляка).

Материалы и методы

В качестве объектов исследования использовали контрольные образцы пудинга³; опытные образцы мясных пудингов из конины и/или жеребятины, папоротника орляка, масла сливочного, яиц куриных, молока, соли поваренной и перца черного молотого.

Органолептическую оценку образцов кулинарных изделий проводили по ГОСТ 31986-2012, ГОСТ 9959-2015, ГОСТ 7269-2015 расширенным составом опытных дегустаторов с применением пятибалльной шкалы. Для оценки пищевой и биологической ценности сырья, полуфабриката и готового изделия были определены такие показатели, как массовая доля влаги (ГОСТ 9793-2016), массовая доля белка (ГОСТ Р 25011-2017), массовая доля жира (ГОСТ 23042-2017), массовая доля углеводов (ГОСТ 34134-2017), массовая доля общей золы (ГОСТ 31727-2012), содержание поваренной соли (ГОСТ 9957-2015). Для оценки пищевой ценности применены требования МР 2.3.1.0253-21⁴.

Результаты экспериментальных исследований, проведенных в 3-5-кратной повторности, обрабатывали методом математической статистики с помощью стандартных программных пакетов.

Результаты и обсуждение

Химический состав и функционально-технологические показатели основного сырья обуславливают потребительские свойства изготавливаемого продукта.

Учитывая широкую популярность у населения говядины, сходность свойств конины с олениной, следует дать характеристику их состава и свойств в сравнительном аспекте. В ходе ранее проведенных нами

¹ О состоянии санитарно-эпидемиологическом благополучия населения в Республике Бурятия в 2023 г. : государственный доклад. Улан-Удэ : Управление Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека по Республике Бурятия. 2024. 225 с.

² Там же.

³ Здобнов А. И., Цыганенко В. А. Сборник рецептов блюд и кулинарных изделий для предприятий общественного питания. Киев : Арий ; М. : Лада, 2009. 680 с.

⁴ Методические рекомендации МР 2.3.1.0253-21. Нормы физиологических потребностей в энергии и пищевых веществах для различных групп населения Российской Федерации. Утв. Федеральной службой по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека 22 июля 2021 г. Москва : Роспотребнадзор, 2021. 72 с.

исследований было установлено, что мясо лошадей бурятской породы характеризуется высоким содержанием белка ($20,6 \pm 0,5$ %) и низким содержанием жира ($5,5 \pm 0,1$ %). Наряду с определением массовой доли белка, был изучен аминокислотный состав трех видов мяса. Белки мяса лошадей и КРС близки к идеальному белку, содержат все незаменимые аминокислоты. В результате анализа количественного и качественного состава аминокислот в конском мясе были идентифицированы незаменимые аминокислоты в количестве $44,85$ г/100 г (Хамаганова и др., 2025).

Результаты экспериментальных исследований согласуются с литературными данными (Гуринович и др., 2022; Дабузова и др., 2024).

По мнению ученых, мясо следует рассматривать как уникальное сырье для производства функциональных продуктов (Дыдыкин и др., 2022). Мясо является источником ряда ценных пищевых веществ, тем не менее суточную потребность организма в пищевых волокнах, практически отсутствующих в мясе, можно удовлетворить введением в рецептуру мясных рубленых полуфабрикатов топинамбура⁵ (Намсараева и др., 2024).

В процессе исследования было проведено теоретическое и экспериментальное обоснование использования дикорастущего растения – папоротника орляка *Pteridium aquilinum* (L.) Kuhn, обладающего многими полезными свойствами.

Химический состав овоща-дикороса представлен в табл. 1.

Таблица 1. Химический состав папоротника орляка
Table 1. Chemical composition of the bracken fern

Компонент состава	Массовая доля, мг/100 г
Влага	$72,5 \pm 0,7$
Белок	$2,5 \pm 0,1$
Жир	$0,50 \pm 0,05$
Углеводы	$19,5 \pm 0,5$
Зола	$1,0 \pm 0,1$

Молодые побеги растения содержат высокое количество углеводов ($19,5 \pm 0,5$ %), в основном представленных пищевыми волокнами, клетчаткой, сахарами, лигнином и пектиновыми веществами. В белковом составе папоротника присутствуют лейцин, аспарагиновая и глютаминовая кислоты, аспарагин, тирозин, фенилаланин. Уникальное растение является источником макро- и микроэлементов, витаминов А, С, Е и группы В, бета-каротина, органических кислот, линолевой и пальмитиновой жирных кислот (Доржиева и др., 2021; 2024).

На основе исследования химического состава папоротника орляка проведена разработка рецептуры и технологии мясного пудинга из конины/жеребятины с добавлением папоротника орляка.

Разработка рецептуры изделия включала анализ имеющихся аналогичных рецептов и технологий по нормативным материалам и другим источникам информации (обзоры, статьи, описание изобретения и др.); определение сырьевого набора и на его основе составление рецептуры (проект); опытные проработки с целью уточнения рецептуры (по нормам расхода сырья – брутто и нетто); определение выхода полуфабриката и блюда с учетом отходов и потерь в соответствии с действующими нормативами.

В качестве контроля служил пудинг, изготовленный по рецептуре 624⁶ с использованием говядины, масла сливочного, яйца куриного, молока, соли поваренной, перца черного молотого.

Применяемое продовольственное сырье, пищевые продукты, полуфабрикаты соответствовали требованиям действующих нормативных документов, имели сопроводительные документы, подтверждающие их безопасность и качество.

Рецептура мясного пудинга "Особый" приведена в табл. 2.

Таблица 2. Рецепт мясного пудинга
Table 2. Meat pudding recipe

Ингредиент	Количество, г
Конина/жеребятина отварная	35,0
Папоротник орляк	20,0
Молоко	30,0
Яйцо куриное	10,0

⁵ Методические рекомендации МР 2.3.1.0253-21. Нормы физиологических потребностей в энергии и пищевых веществах для различных групп населения Российской Федерации. Утв. Федеральной службой по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека 22 июля 2021 г. Москва : Роспотребнадзор, 2021. 72 с.

⁶ Здобнов А. И., Цыганенко В. А. Сборник рецептов блюд и кулинарных изделий для предприятий общественного питания. Киев : Арий ; М. : Лада, 2009. 680 с.

Масло сливочное	5,0
Соль поваренная	1,2
Перец черный молотый	0,5
Выход	100,0

Как видно из рецептуры, в сырьевой набор пудинга включены натуральные экологически чистые сырьевые ресурсы региона.

Общая технологическая схема производства мясного пудинга представлена на рис. 1.

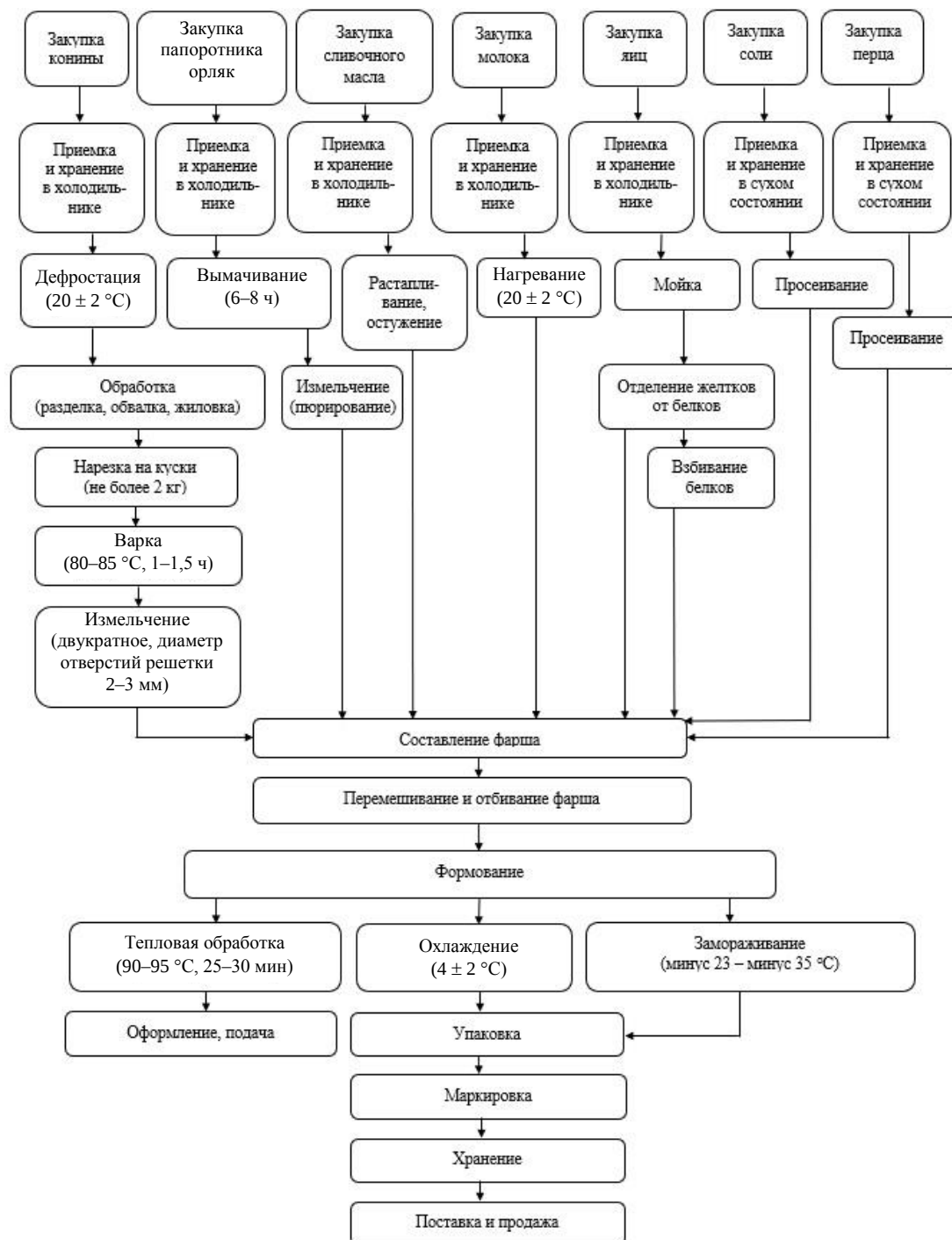


Рис. 1. Технологическая схема производства мясного пудинга

Fig. 1. Technological scheme of meat pudding production

Подготовка мясного сырья заключается в следующем: замороженное мясо подвергают дефростации в специальных камерах размораживания при температуре $20 \pm 2^\circ\text{C}$ и относительной влажности воздуха

не менее 90 % до температуры в толще мышц мяса 1 °С. После окончания размораживания мясо обмывают водопроводной водой и направляют на разделку, обвалку, жиловку и нарезку. Нарезанное на куски конское мясо массой не более 2 кг закладывают в горячую воду (на 1 кг мяса 1–1,5 л воды), варят при слабом кипении в течение 1–1,5 ч. Соль кладут в бульон за 15–20 мин до готовности мяса. Готовность мяса определяют поварской иглой.

Папоротник орляк соленый (ТУ 9161-003-01726986-16) после вскрытия упаковки промывают и вымачивают в холодной воде в течение 6–8 ч, периодически перемешивая и меняя воду через каждые 2 ч. Подготовленный орляк измельчают на блендере при максимальной скорости до однородного состояния.

Сливочное масло растапливают на водяной бане и остужают. Молоко и яйца заранее достают из холодильника и доводят до комнатной температуры. Желтки яиц отделяют от белков и взбивают по отдельности до густой пены. Соль и перец черный молотый просеивают по отдельности для удаления комков и механических загрязнений.

Остывшее вареное мясо пропускают два раза через мясорубку (диаметр отверстий решетки 2–3 мм), добавляют измельченный папоротник, подготовленные сливочное масло, молоко, взбитые желтки, соль, перец. Фарш хорошо вымешивают и отбивают. Полученный фарш соединяют со взбитыми белками, осторожно перемешивают сверху вниз, раскладывают в смазанные маслом формы и варят на пару или водяной бане в течение 25–30 мин. Разработчиками предусмотрены приготовление и подача пудинга как самостоятельного блюда; подача в горячем виде; со сливочным маслом или соусом, который должен подчеркивать и дополнять вкус основного продукта; подача с гарниром.

После формирования полуфабрикаты можно подвергнуть охлаждению при температуре 4 ± 2 °С с последующим хранением не более 24 ч.

Для длительного хранения после формирования полуфабрикаты подвергают замораживанию при температуре от –23 до –35 °С до достижения температуры в толще –8 °С; хранение осуществляют при температуре –18 °С не более 6 месяцев.

Непосредственно после приготовления произведена органолептическая оценка мясного пудинга "Особый". Результаты описательного метода оценки представлены в табл. 3.

Таблица 3. Органолептическая оценка мясного пудинга
Table 3. Organoleptic evaluation of meat pudding

Показатель	Характеристика
Внешний вид	Пудинг сохранил форму, имеет ровную поверхность
Цвет	Светло-серый
Консистенция	Нежная, сочная, упругая, однородная консистенция. На разрезе блюдо целое, не рассыпается, имеются вкрапления растительного ингредиента
Запах	Запах вареного мяса, без посторонних запахов
Вкус	Вкус вареного мяса, умеренно соленый, без посторонних привкусов

Профилограмма дегустационной оценки по пятибалльной шкале контрольного и опытного образцов пудинга представлена на рис. 2.

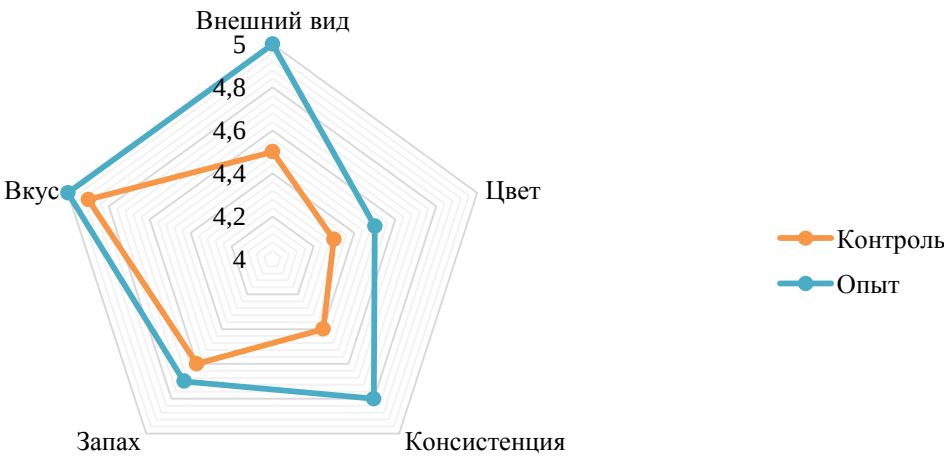


Рис. 2. Профилограмма органолептической оценки контрольного и опытного образцов пудинга
Fig. 2. Profilogram of organoleptic evaluation of control and experimental samples of puddings

Результаты расчета пищевой и энергетической ценности контрольного и опытного образцов представлены в табл. 4.

Таблица 4. Пищевая ценность пудингов
Table 4. Nutritional value of puddings

Показатель	Пудинг из говядины (контроль)	Пудинг "Особый" (опыт)
Массовая доля влаги, %	63,7	77 ± 2,5
Массовая доля белка, %	15,3	10,0 ± 0,3
Массовая доля жира, %	16,8	9,6 ± 1,0
Массовая доля углеводов, %	0,5	2,0 ± 0,3
Массовая доля золы, %	0,9	1,4 ± 0,08
Массовая доля поваренной соли, %	0,70	0,7 ± 0,1
Калорийность, ккал/кДж	214 / 895	134 / 561

Как видно из табл. 4, введение в рецептуру мясного пудинга папоротника орляка обеспечивает повышение содержания углеводов и золы, что способствует повышению пищевой ценности готового продукта. При этом энергетическая ценность мясного пудинга "Особый" невысокая, что вполне соответствует концепции здорового питания.

По общим данным, приводимым Минздравсоцразвития, в питании россиян выявляется недостаточный уровень потребления пищевых волокон и биологически активных компонентов пищи, витаминов и минеральных веществ. Поэтому одним из этапов исследования в рамках настоящей работы стало изучение витаминного и минерального состава пудинга (табл. 5) для определения наилучшего продукта с точки зрения современной нутрициологии.

Таблица 5. Витаминный и минеральный состав пудингов
Table 5. Vitamin and mineral composition of puddings

Вещество	Пудинг из говядины (контроль)	Пудинг "Особый" (опыт)
<i>Минеральные вещества</i>		
Кальций, мг%	16,4	46,7
Фосфор, мг%	118,3	131,9
Магний, мг%	12,9	13,6
Калий, мг%	184,8	188,1
Натрий, мг%	48,6	46,3
Железо, мг%	1,61	1,38
Медь, мг%	0	0,06
<i>Витамины</i>		
Витамин С, мг%	0,07	5,39
Витамин В ₁ (тиамин), мг%	0,04	0,04
Витамин В ₂ (рибофлавин), мг%	0,13	0,17
Ниацин, мг%	2,37	2,0
Витамин А, мкг%	43,7	107,0

Анализ данных табл. 5 показывает, что внесение в рецептуру мясного пудинга из мяса лошадей папоротника орляка способствует улучшению витаминно-минерального состава и повышению биологической ценности готового продукта. Мясной пудинг "Особый" существенно превосходит контрольный образец пудинга по содержанию таких минеральных элементов, как кальций (почти в 3 раза), который является основным макроэлементом, участвующим в процессах остеогенеза; фосфор (на 11 %), играющий важную роль в минерализации костной ткани; магний (на 5 %), регулирующий минерализацию, равномерный рост, гибкость и прочность кости; калий (почти на 2 %), регулирующий баланс жидкости, передачу нервных импульсов и кислотно-щелочной баланс; медь, обеспечивающая активность ферментов для увеличения "сшивания" молекул коллагена и эластина (у лиц с низким уровнем потребления меди может быть нарушена минерализация костной ткани).

По содержанию витамина В₂ опытный образец пудинга превосходит контрольный образец на 30 %, витамина А – в 2,5 раза. Важно отметить, что мясной пудинг характеризуется высоким содержанием витамина С.

Мясной пудинг "Особый" по органолептическим и физико-химическим свойствам соответствует требованиям безопасности (СанПиН 2.3.2.1078-01, СанПиН 2.3.2.1324-03, ТР ТС 034/2013, ТР ТС 022/2011).

Заключение

Разработанный мясной пудинг "Особый" из конины, жеребятины с использованием папоротника орляка характеризуется отличными органолептическими свойствами и сбалансированным химическим составом: массовая доля белка в изделиях составляет 10 %, жира – 9,6 %, минеральных веществ – около 1,5 %; углеводов – 2 %.

Новизна технического решения при разработке рецептуры и технологии мясного пудинга подтверждена патентом Российской Федерации на изобретение № 2835178⁷. Полученные данные свидетельствуют о высокой пищевой и биологической ценности готовых изделий. Пудинги расширяют ассортимент продукции общественного питания функционального и специализированного назначения, предусматривающий использование сырьевых ресурсов региона.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Библиографический список

- Андреева Л. В., Доржиева М. В., Хамаганова И. В. Мясные пудинги и мясные суфле – в объектах интеллектуальной собственности // Устойчивое развитие технологии сервиса, услуг гостеприимства и общественного питания : материалы XIII Междунар. студ. науч.-практ. конф., Улан-Удэ, 6–7 июня 2024 г. Улан-Удэ, 2024. С. 176–179. EDN: HUVFRN.
- Базарон Б. З., Хамируев Т. Н., Дашинимаев С. М., Монгуш Б. М. [и др.]. Продуктивные и воспроизводительные качества конематок, разводимых в условиях Восточной Сибири // Главный зоотехник. 2024. № 6(251). С. 51–59. DOI: <https://doi.org/10.33920/sel-03-2406-05>. EDN: GVZSIU.
- Гуз Е. А., Чеснокова Н. Ю., Кузнецова А. А., Портнов Н. М. Изучение возможности использования папоротника Орляка обыкновенного (*Pteridium aquilinum*) в технологии бисквитов для школьного питания // Ползуновский вестник. 2024. № 2. С. 53–65. DOI: <https://doi.org/10.25712/ASTU.2072-8921.2024.02.007>. EDN: QFTTQD.
- Гуринович Г. В., Хренов В. А., Патракова И. С. Сравнительная оценка качества говядины в зависимости от условий созревания // Ползуновский вестник. 2022. № 1. С. 73–78. DOI: <https://doi.org/10.25712/ASTU.2072-8921.2022.01.010>. EDN: JJBWYC.
- Дабузова Г. С., Алигазиева П. А., Алимагомедова С. М., Омаров Ш. К. Разработка способа производства сыровяленной колбасы с барбарисом // Известия Дагестанского ГАУ. 2024. № 2(22). С. 256–262. EDN: TASPQD.
- Доржиева М. В., Хамаганова И. В. Маркетинговые исследования потребительских предпочтений мясных продуктов, кулинарных изделий и блюд из конины // Пищевые технологии. Товароведение и экспертиза продовольственных товаров : материалы Национальной науч.-практ. конф. "Образование и наука", посвященной празднованию 50-летия начала строительства Байкало-Амурской магистрали, Улан-Удэ, 08–12 апреля 2024 г. Вып. 11. Улан-Удэ, 2024. С. 3–9. EDN: XWVLYW.
- Доржиева М. В., Хамаганова И. В., Дамдинова Т. Ц. Изменение органолептических свойств мясного фарша при включении папоротника Орляк // Пищевая промышленность. 2021. № 12. С. 31–34. DOI: <https://doi.org/10.52653/PPI.2021.12.12.006>. EDN: BUSQII.
- Дыдыкин А. С., Асланова М. А., Деревицкая О. К., Зубарев Ю. Н. [и др.]. Мясо – уникальный ресурс для создания функциональных продуктов питания // Все о мясе. 2022. № 3. С. 34–39. DOI: <https://doi.org/10.21323/2071-2499-2022-3-34-39>. EDN: PIUYAO.
- Кузнецова А. А., Кушнаренко Л. В., Левчук Т. В. Использование папоротника орляка в производстве изделий из бисквитного теста // Инновации в пищевой промышленности: образование, наука, производство : материалы 4-й Всерос. науч.-практ. конф., г. Благовещенск, 20 февраля 2020 г. Благовещенск, 2020. С. 90–94. EDN: JCBPJV.
- Купчак Д. В., Синяева А. А. Совершенствование рецептур и технологии кулинарной продукции с использованием папоротника- орляка (*Pteridium aquilinum* (L.) Kuhn) // Вестник Сибирского университета потребительской кооперации. 2020. № 1(31). С. 35–39. EDN: OTFXJS.
- Мельникова Е. В. Получение пищевого порошка из папоротника орляк // Инновационные тенденции развития российской науки : материалы VII Междунар. науч.-практ. конф. молодых ученых, Красноярск, 24–26 марта 2014 г. Красноярск, 2015. С. 266–268. EDN: TMKRCV.
- Намсараева З. М., Хамаганова И. В. Разработка рецептуры мясного полуфабриката с использованием топинамбура // Вестник ВСГУТУ. 2024. № 1(92). С. 34–42. DOI: https://doi.org/10.53980/24131997_2024_1_34. EDN: EBAKOK.
- Хамаганова И. В., Намсараева З. М., Доржиева М. В., Аникина В. А. Исследование и разработка продукции массового изготовления из нетрадиционных видов мяса // Пищевая промышленность. 2025. № 1. С. 35–39. DOI: <https://doi.org/10.52653/PPI.2025.1.1.007>. EDN: LNRDPK.

⁷ Мясной пудинг : пат. № 2835178 С1 Российская Федерация, МПК А23L 13/40, А23L 13/60 / М. В. Доржиева, И. В. Хамаганова ; заявл. 04.07.2024 ; опубл. 24.02.2025, Бюл. № 6.

- Хамаганова И. В., Столярова А. С., Доржиева М. В. Разработка мясных полуфабрикатов пониженной калорийности с использованием сырьевых ресурсов региона // Вестник ВСГУТУ. 2020. № 4(79). С. 21–30. EDN: KCOZHM.
- Черемных Д. А., Губаненко Г. А., Речкина Е. А., Осипова Е. С. [и др.]. Состояние и перспективы развития производства продукции из папоротника // Вестник КрасГАУ. 2023. № 5(194). С. 217–224. DOI: <https://doi.org/10.36718/1819-4036-2023-5-217-224>. EDN: FGRGJP.
- Dion C., Haug C., Guan H., Ripoll C. [et al.]. Evaluation of the anti-inflammatory and antioxidative potential of four fern species from China intended for use as food supplements // Natural Product Communications. 2015. Vol. 10, Iss. 4. P. 597–603. DOI: <https://doi.org/10.1177/1934578X1501000416>.

References

- Andreeva, L. V., Dorzhieva, M. V., Khamaganova, I. V. 2024. Meat puddings and meat soufflés – in intellectual property objects. Coll. articles of the XIII Intern. students' scientific and practical conf. *Sustainable development of service technology, hospitality and catering services*, Ulan-Ude, June 6–7, 2024. Ulan-Ude, pp. 176–179. EDN: HUVFRN. (In Russ.)
- Bazon, B. Z., Khamiruev, T. N., Dashinimaev, S. M., Mongush, B. M. et al. 2024. Productive and reproductive traits of mares bred under conditions of Eastern Siberia. *Head of Animal Breeding*, 6(251), pp. 51–59. DOI: <https://doi.org/10.33920/sel-03-2406-05>. EDN: GVZSIU. (In Russ.)
- Guz, E. A., Chesnokova, N. Yu., Kuznetsova, A. A., Portnov, N. M. 2024. Study of the possibility of using the common bracken fern (*Pteridium aquilinum*) in the technology of biscuits for school meals. *Polzunovsky Vestnik*, 2, pp. 53–65. DOI: <https://doi.org/10.25712/ASTU.2072-8921.2024.02.007>. EDN: QFTTQD. (In Russ.)
- Gurinovich, G. V., Khrenov, V. A., Patrakova, I. S. 2022. Comparative assessment of beef quality depending on ripening conditions. *Polzunovsky Vestnik*, 1, pp. 73–78. DOI: <https://doi.org/10.25712/ASTU.2072-8921.2022.01.010>. EDN: JJBWYC. (In Russ.)
- Dabuzova, G. S., Aligazieva, P. A., Alimagomedova, S. M., Omarov, Sh. K. 2024. Development of a method for the production of dry-cured sausage with barberry. *Daghestan GAU Proceedings*, 2(22), pp. 256–262. EDN: TASPQD. (In Russ.)
- Dorzhieva, M. V., Khamaganova, I. V. 2024. Marketing research of consumer preferences of meat products, culinary products and dishes from horse meat. Proceedings of the National scien. and pract. conf. dedicated to the celebration of the 50th anniversary of the start of construction of the Baikal-Amur Mainline *Food technologies. Commodity science and examination of food products*, April 8–12, 2024. Ulan-Ude, pp. 3–9. EDN: XWVLYW. (In Russ.)
- Dorzhieva, M. V., Khamaganova, I. V., Damdinova, T. Ts. 2021. Change in organoleptic properties of minced meat when including fern Orlyak. *Food Industry*, 12, pp. 31–34. DOI: <https://doi.org/10.52653/PPI.2021.12.12.006>. EDN: BUSQII. (In Russ.)
- Dydykin, A. S., Aslanova, M. A., Derevitskaya, O. K., Zubarev, Yu. N. et al. 2022. Meat – a unique resource for creating functional food products. *Vsy o Myase*, 3, pp. 34–39. DOI: <https://doi.org/10.21323/2071-2499-2022-3-34-39>. EDN: PIUYAO. (In Russ.)
- Kuznetsova, A. A., Kushnarenko, L., Levchuk, T. 2020. Use of bracken fern in the production of biscuit dough products. Coll. articles of the 4th All-Russian scien. and pract. conf. *Innovations in the food industry: Education, science, production*, Blagoveshchensk, 20 February, 2020. Blagoveshchensk, pp. 90–94. EDN: JCBPJV. (In Russ.)
- Kupchak, D. V., Sinyayeva, A. A. 2020. Improvement of recipes and technology of culinary products using bracken fern (*Pteridium aquilinum* (L.) Kuhn). *Bulletin of the Siberian University of Consumer Cooperatives*, 1(31), pp. 35–39. EDN: OTFXJS. (In Russ.)
- Melnikova, E. V. 2014. Obtaining food powder from the fern bracken. Coll. articles of the VII Intern. scien. and pract. conf. of Young Scientists *Innovative trends in the development of Russian science*, 24–26 March, 2014. Krasnoyarsk, pp. 266–268. EDN: TMKRVC. (In Russ.)
- Namsaraeva, Z. M., Khamaganova, I. V. 2024. Development of meat semi-finished product formulation with the use of jerusalem artichoke. *ESSUTM Bulletin*, 1(92), pp. 34–42. DOI: https://doi.org/10.53980/24131997_2024_1_34. EDN: EBAKOK. (In Russ.)
- Khamaganova, I. V., Namsaraeva, Z. M., Dorzhieva, M. V., Anikina, V. A. 2025. Research and development of mass-produced products from non-traditional types of meat. *Food Industry*, 1, pp. 35–39. DOI: <https://doi.org/10.52653/PPI.2025.1.1.007>. EDN: LNRDPK. (In Russ.)
- Khamaganova, I. V., Stolyarova, A. S., Dorzhieva, M. V. 2020. Development of low-calorie semi-finished meat products using the region's raw materials. *ESSUTM Bulletin*, 4(79), pp. 21–30. EDN: KCOZHM. (In Russ.)
- Cheremnykh, D. A., Gubanenko, G. A., Rechkina, E. A., Osipova, E. S. et al. 2023. Status and development prospects of fern product production. *Bulliten KrasSAU*, 5(194), pp. 217–224. DOI: <https://doi.org/10.36718/1819-4036-2023-5-217-224>. EDN: FGRGJP. (In Russ.)
- Dion, C., Haug, C., Guan, H., Ripoll, C. et al. 2015. Evaluation of the anti-inflammatory and antioxidative potential of four fern species from China intended for use as food supplements. *Natural Product Communications*, 10(4), pp. 597–603. DOI: <https://doi.org/10.1177/1934578X1501000416>.

Сведения об авторах

Доржиева Мария Викторовна – ул. Ключевская, 40В, г. Улан-Удэ, Россия, 670013;
Восточно-Сибирский государственный университет технологий и управления, преподаватель;
e-mail: dorzhiavam1994@mail.ru, ORCID: <https://orcid.org/0009-0002-0319-5213>

Mariya V. Dorzhieva – 40V Klyuchevskaya Str., Ulan-Ude, Russia, 670013;
East Siberia State University of Technology and Management;
e-mail: dorzhiavam1994@mail.ru, ORCID: <https://orcid.org/0009-0002-0319-5213>

Хамаганова Инга Вячеславовна – ул. Ключевская, 40В, г. Улан-Удэ, Россия, 670013;
Восточно-Сибирский государственный университет технологий и управления, д-р техн. наук, доцент;
e-mail: xiv2609@mail.ru, ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-9953-7654>

Inga V. Khamaganova – 40V Klyuchevskaya Str., Ulan-Ude, Russia, 670013;
East Siberia State University of Technology and Management, Dr Sci. (Engineering), Associate Professor;
e-mail: xiv2609@mail.ru, ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-9953-7654>

Нормативные документы, использованные в статье

ГОСТ 31986-2012	Услуги общественного питания. Метод органолептической оценки качества продукции общественного питания. URL : https://docs.cntd.ru/document/1200103472
ГОСТ 9959-2015	Мясо и мясные продукты. Общие условия проведения органолептической оценки. URL : https://docs.cntd.ru/document/1200133106
ГОСТ 7269-2015	Мясо. Методы отбора образцов и органолептические методы определения свежести. URL : https://docs.cntd.ru/document/1200133105
ГОСТ 9793-2016	Мясо и мясные продукты. Методы определения влаги. URL : https://docs.cntd.ru/document/1200144231
ГОСТ Р 25011-2017	Мясо и мясные продукты. Методы определения белка. URL : https://docs.cntd.ru/document/1200146783
ГОСТ 23042-2017	Мясо и мясные продукты. Методы определения жира. URL : https://docs.cntd.ru/document/1200133107
ГОСТ 34134-2017	Мясо и мясные продукты. Метод определения состава свободных углеводов. URL : https://docs.cntd.ru/document/1200146649
ГОСТ 31727-2012	Мясо и мясные продукты. Метод определения массовой доли общей золы. URL : https://docs.cntd.ru/document/1200098742
ГОСТ 9957-2015	Мясо и мясные продукты. Методы определения содержания хлористого натрия. URL : https://docs.cntd.ru/document/1200123810
МР 2.3.1.0253-21	Методические рекомендации МР 2.3.1.0253-21. Нормы физиологических потребностей в энергии и пищевых веществах для различных групп населения Российской Федерации. М. : Роспотребнадзор, 2021.
СанПиН 2.3.2.1078-01	Гигиенические требования безопасности и пищевой ценности пищевых продуктов. URL : https://docs.cntd.ru/document/901806306
СанПиН 2.3.2.1324-03	Гигиенические требования к срокам годности и условиям хранения пищевых продуктов. URL : https://docs.cntd.ru/document/901864836?marker=64U0IK
ТР ТС 034/2013	О безопасности мяса и мясной продукции. URL : https://docs.cntd.ru/document/499050564
ТР ТС 022/2011	Пищевая продукция в части ее маркировки. URL : https://docs.cntd.ru/document/902320347

УДК 664.662, 664.665

Разработка технологии хлебобулочного изделия, предназначенного для профилактики заболеваний костной системы

Н. Г. Иванова*, А. О. Нагуманова, А. Н. Сапожников

**Московский государственный университет технологий
и управления им. К. Г. Разумовского (ПКУ), г. Москва, Россия;
e-mail: n.ivanova@mgutm.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3878-6355>*

Информация о статье

Поступила
в редакцию
09.06.2025;

принята
к публикации
07.07.2025

Ключевые слова:

хлебобулочные
изделия, витамин D,
кальций, магний,
грибы сморчки,
семена чиа,
остеопения,
остеопороз,
укрепление
костной ткани

Реферат

Снижение минерализации костной ткани, развитие остеопении и остеопороза являются социально значимыми заболеваниями, негативно влияющими на качество жизни. При разработке технологии хлебобулочного изделия из муки пшеничной высшего сорта, предназначенного для профилактики заболеваний костной системы, в качестве источника витамина D в рецептуру изделия вносили порошок из сморчков, в качестве источника кальция и магния – семена чиа. Экспериментальные образцы изделия приобретали легкий грибной привкус и запах, привкус семян чиа, характеризовались равномерной пористостью и большим количеством темных вкраплений. Исследования показали, что с увеличением количества порошка из сморчков увеличивается кислотность хлебобулочного изделия и наблюдается снижение его объема. Оптимальное количество порошка из сморчков и семян чиа принято равным 6,67 и 15 % к массе муки соответственно. Семена чиа хорошо абсорбируют воду, поэтому целесообразно повышать влажность теста на 1 % и дозировку семян до 15 % к массе муки. Разработанное хлебобулочное изделие "Остеохлеб" обеспечивает суточную потребность взрослого человека в витамине D на 16,1 %, кальция – на 12,3 %, магнии – на 21,3 %. Изделие рекомендуется для включения в рацион, направленный на профилактику заболеваний костной системы и включающий нутриенты, оказывающие благоприятное воздействие на работу опорно-двигательного аппарата.

Для цитирования

Иванова Н. Г. и др. Разработка технологии хлебобулочного изделия, предназначенного для профилактики заболеваний костной системы. Вестник МГТУ. 2025. Т. 28, № 3. С. 403–413. DOI: <https://doi.org/10.21443/1560-9278-2025-28-3-403-413>.

Development of bakery product technology intended for the prevention of bone system diseases

Natalia G. Ivanova*, Alina O. Nagumanova, Aleksandr N. Sapozhnikov

**K. G. Razumovsky Moscow State University of Technologies
and Management (The First Cossack University), Moscow, Russia;
e-mail: n.ivanova@mgutm.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3878-6355>*

Article info

Received
09.06.2025;

accepted
07.07.2025

Key words:

bakery products,
vitamin D, calcium,
magnesium, morel
mushrooms,
chia seeds, osteopenia,
osteoporosis,
strengthening bone tissue

Abstract

Reduced bone mineralization, osteopenia, and osteoporosis are socially significant diseases that negatively affect the quality of life. When developing the technology for a bakery product made from premium wheat flour intended for the prevention of skeletal diseases, morel powder has been added to the product recipe as a source of vitamin D, and chia seeds have been added as a source of calcium and magnesium. Experimental samples of the product have acquired a light mushroom flavor and smell, a chia seed flavor, and are characterized by uniform porosity and a large number of dark inclusions. Studies have shown that with an increase in the amount of morel powder, the acidity of the bakery product increases and a decrease in its volume is observed. The optimal amount of morel powder and chia seeds is taken to be 6.67 and 15 % of the flour weight, respectively. Chia seeds absorb water well, so it is advisable to increase the dough moisture by 1 % and the dosage of seeds to 15 % of the flour weight. The developed bakery product "Osteokhleb" provides the daily requirement of an adult for vitamin D by 16.1 %, calcium – by 12.3 %, magnesium – by 21.3 %. The product is recommended for inclusion in a diet aimed at preventing diseases of the skeletal system and including nutrients that have a beneficial effect on the functioning of the musculoskeletal system.

For citation

Ivanova, N. G. et al. 2025. Development of bakery product technology intended for the prevention of bone system diseases. *Vestnik of MSTU*, 28(3), pp. 403–413. (In Russ.) DOI: <https://doi.org/10.21443/1560-9278-2025-28-3-403-413>.

Введение

Снижение минерализации костной ткани, развитие остеопении и остеопороза являются социально значимыми заболеваниями, негативно влияющими на качество жизни. Остеопороз часто встречается у пожилых людей из-за возрастного снижения плотности костной ткани; в подростковом возрасте могут развиваться ювенильный остеопороз или остеопения вследствие генетической предрасположенности, нарушений питания и т. д. (Алексеева и др., 2021; Баженова и др., 2022). Высокая степень распространенности этих заболеваний по всему миру (Malluche et al., 2022) определяет необходимость организации правильного питания, включающего продукты, способствующие поддержанию нормального состояния костной массы и функционирования организма (Карпычева и др., 2021).

В России активно ведется работа по профилактике и лечению патологий костной ткани. Остеопенический синдром, характеризующийся снижением минеральной плотности костей, ухудшением их прочности и других характеристик, может привести к остеопорозу, тем самым являясь его предшественником. Следует отметить, что остеопения характеризуется только лишь снижением минеральной плотности костной ткани, тогда как при остеопорозе наблюдается снижение массы костей, что впоследствии приводит к повышенному риску переломов (Карпычева и др., 2021).

В России у 14 млн человек официально диагностирована остеопения, а 20 млн имеют симптомы данного заболевания. У детей и подростков остеопенический синдром часто приводит к деформациям скелета в значительно большей степени в сравнении с изменениями скелета взрослых людей. Комплексное лечение остеопенического синдрома включает физическую активность, регулярное употребление витамина D в соответствующих дозах, а также продуктов, содержащих достаточное количество кальция (Алексеева и др., 2022). Бисфосфонаты – препараты, которые назначают для лечения и профилактики заболеваний, связанных с повышенным разрушением костной ткани, однако остаются актуальными вопросы их применения, длительности терапии и возможности временной отмены. Система здравоохранения страны, включая педиатрию и раннюю диагностику, постоянно совершенствуется, что способствует повышению уровня осведомленности населения о заболеваниях подобного рода. Поэтому важным шагом в профилактике остеопении и остеопороза, помимо приема соответствующих лекарственных препаратов, является включение в рацион населения продуктов, содержащих в достаточном количестве витамин D, кальций и магний (Карпычева и др., 2021; Юрьева и др., 2022; Погожева и др., 2022; Martiniakova et al., 2022).

Витамин D и кальций – основные нутриенты, поддерживающие здоровое состояние костной ткани и предотвращающие развитие остеопении, а в дальнейшем и остеопороза. При этом важным является их совместное действие, при котором кальций способствует укреплению костной ткани, а витамин D, необходимый для нормального усвоения кальция, поддерживает ее минерализацию. Кроме того, потребление витамина D и кальция способствует поддержанию функционирования иммунной системы, что важно для профилактики различных заболеваний, включая остеопению и остеопороз. Значительную роль во взаимодействии с витамином D и кальцием играет магний; он направляет кальций в костную ткань и предотвращает его вымывание. Помимо этого, избыток кальция без достаточного количества магния может иметь токсичный эффект. Магний переводит витамин D в активную форму и регулирует его метаболизм, что усиливает роль данных веществ в укреплении костной ткани (Погожева и др., 2022). В современных условиях включение в рацион продуктов с повышенным содержанием витамина D, кальция и магния становится необходимым шагом в процессе организации правильного питания населения (Карпычева и др., 2021; Джатдоева и др., 2021).

Таким образом, проведенный анализ научной литературы позволяет сделать вывод об актуальности разработки рецептуры и технологии хлебобулочного изделия с повышенным содержанием нутриентов, укрепляющих костную ткань. Хлебобулочные изделия являются базовой и неотъемлемой частью ежедневного рациона населения России и многих стран мира. Для повышения их пищевой ценности может быть использовано различное сырье преимущественно растительного происхождения. В настоящем исследовании в качестве такого сырья были выбраны семена чиа и грибы сморчки. Выбор данного вида сырья основан на высоком содержании в нем витамина D, кальция и магния. Разрабатываемый продукт предназначен для профилактики остеопении, остеопороза и поддержания необходимого уровня минеральной плотности костной системы (Николаева и др., 2021).

Целью работы являлась разработка технологии хлебобулочного изделия, содержащего повышенное количество витамина D, кальция, магния и используемого для профилактики заболеваний костной системы. Регулярное употребление данного изделия позволит обеспечить здоровое состояние основы опорно-двигательного аппарата и общую защиту организма.

Материалы и методы

В теоретической части исследования с целью выбора оптимальных рецептурных ингредиентов проведен анализ литературных данных о химическом составе и воздействии на организм человека шести природных источников витамина D, кальция и магния: грибов сморчков сушеных, рыбьего жира, грибов шиитаке сушеных, семян чиа и тыквы, сушеного киноа. Информационный поиск проводили по источникам,

индексируемым в базе РИНЦ, находящимся в открытом доступе и опубликованным преимущественно после 2020 г., с использованием следующих критериев:

- количественное содержание витамина D, кальция и магния в сырье;
- наличие данных об исследованиях, подтверждающих положительное воздействие нутриентов на состояние здоровья человека;
- технологические свойства сырья, его доступность и стоимость.

Практическая часть исследования включала приготовление образцов изделий с последующим анализом их органолептических, физико-химических показателей и пищевой ценности.

Для приготовления образцов изделий было использовано сырье, приобретенное в розничной торговой сети г. Москвы и соответствующее требованиям указанной нормативной документации:

- мука пшеничная хлебопекарная высшего сорта торговой марки "Макфа" (ГОСТ 26574-2017);
- дрожжи хлебопекарные прессованные торговой марки "Саф-Нева" (ГОСТ Р 54731-2011);
- соль пищевая торговой марки "Илецкая" (ГОСТ Р 51574-2018);
- семена чиа торговой марки "Зеленый слон" (ТУ 9760-004-76440635-16);
- грибы сморчки сушеные торговой марки "Ароматы тайги" (ГОСТ 33318-2015).

В ходе исследования проанализированы следующие образцы хлебобулочного изделия:

- 1) контрольный образец 1, приготовленный из основного сырья: муки пшеничной высшего сорта, дрожжей прессованных, соли пищевой и воды питьевой¹;
- 2) экспериментальные:
 - образец 2, приготовленный из основного сырья с добавлением порошка из сморчков (3,33 % от массы муки) и семян чиа (10 % от массы муки);
 - образец 3, приготовленный из основного сырья с добавлением порошка из сморчков (5 %) и семян чиа (15 %);
 - образец 4, приготовленный из основного сырья с добавлением порошка из сморчков (6,67 %) и семян чиа (15 %);
 - образец 5, приготовленный из основного сырья с добавлением порошка из сморчков (10 %) и семян чиа (15 %).

Количество вносимых порошка из сморчков и семян чиа было определено путем анализа их химического состава и предварительного расчета пищевой ценности готового хлебобулочного изделия методом математического моделирования. Расчет имел целью обеспечение одной порцией разрабатываемого изделия, равной 100 г, не менее 10 % суточной потребности в витамине D, кальции и магнии в соответствии с МР 2.3.1.0253-21 для женщин в возрасте 65–74 лет с коэффициентом физической активности 1,7 (данная группа наиболее подвержена заболеванию остеопорозом).

Рецептуры образцов хлебобулочного изделия представлены в табл. 1.

Таблица 1. Рецептуры образцов хлебобулочного изделия
Table 1. Formulations of bakery product samples

Сырье	Расход, г на 150 г готовой продукции				
	Образец 1	Образец 2	Образец 3	Образец 4	Образец 5
Мука пшеничная высшего сорта	100,0	92,0	87,0	84,9	83,0
Порошок из сморчков	–	3,1	4,3	5,7	8,3
Семена чиа	–	9,2	13,0	12,7	12,2
Дрожжи прессованные	4,0	3,7	3,5	3,4	3,3
Соль пищевая	1,5	1,4	1,3	1,3	1,2
Вода питьевая	По расчету для обеспечения влажности теста 42,5 %				

Перед приготовлением изделий проведена первичная обработка сырья. Пшеничную муку просеивали, из дрожжей готовили суспензию, соль растворяли в воде. Сушеные сморчки измельчали в мельнице ножевой РМ-120 ("Спектро Лаб", Россия) до однородного тонкодисперсного состояния.

Тесто для образцов хлебобулочного изделия готовили из смеси ингредиентов согласно рецептурам каждого образца. Составленную смесь подвергали замесу в лабораторной тестомесильной машине У1-ЕТВ ("Мототех", Россия) в течение 5 мин до получения теста однородной консистенции. Замешанное тесто направляли в термостат ТВ-80-1 (Касимовский приборный завод, Россия) на брожение в течение 1 ч при температуре 28–30 °С. Выброженное тесто разделяли на куски по 150 г, формировали овальные, округленные с концов заготовки и укладывали их в предварительно смазанные формы. Сформованные тестовые заготовки поступали на окончательную расстойку в течение 45–60 мин при температуре 35–40 °С и относительной влажности воздуха 75–85 % в шкафу окончательной расстойки, входящем в конструкцию

¹Сборник технологических инструкций для производства хлеба и хлебобулочных изделий. Москва, 1989. 495 с.

печи CRV FPF 40*605G (CRVbakery, Турция). После окончательной расстойки тестовые заготовки выпекали в данной печи при температуре 220 °С в течение 20–25 мин, затем охлаждали при комнатной температуре в течение 40–60 мин.

Органолептическую оценку готовых образцов хлебобулочного изделия проводили в соответствии с ГОСТ 5667-2022. Образцы оценивали по следующим показателям: внешний вид, состояние поверхности, вид на разрезе, цвет, вкус, запах, общее впечатление. Оценка проводилась дегустационной комиссией в количестве 10 человек с оформлением дегустационных листов по 5-балльной шкале по каждому показателю в следующей градации: 1 балл – неудовлетворительно, 2 – удовлетворительно, 3 – приемлемо, 4 – хорошо, 5 – отлично.

Определение влажности мякиша образцов хлебобулочных изделий проводили гравиметрическим методом по ГОСТ 21094-2022, кислотности мякиша – поверочным арбитражным методом по ГОСТ 5670-96, определение удельного объема образцов изделий – по методике, описанной в ГОСТ 27669-88.

Определение показателей качества осуществляли в трехкратной повторности, статистическую обработку и оформление полученных данных проводили с помощью программного обеспечения Microsoft Excel.

Пищевую ценность готового продукта устанавливали расчетным методом согласно методике, разработанной в Научно-исследовательском институте хлебопекарной промышленности для определения химического состава и энергетической ценности хлебобулочных изделий с использованием справочных таблиц². Оценку степени удовлетворения суточной потребности в белках, жирах, углеводах, пищевых волокнах, витамине D, кальции и магнии для женщин 65–74 лет с коэффициентом физической активности 1,7 при употреблении 100 г изделия проводили в соответствии с МР 2.3.1.0253-2021 "Нормы физиологических потребностей в энергии и пищевых веществах для различных групп населения Российской Федерации".

Результаты и обсуждение

К распространенным природным источникам витамина D, кальция и магния, способным оказывать положительное влияние на костную систему и участвовать в поддержании здорового состояния организма, относятся грибы сморчки, рыбий жир, грибы шиитаке, семена чиа, тыквы, киноа. Данные анализа количественного состава нутриентов, способных благотворно влиять на состояние костной системы и содержащихся в вышеперечисленных природных источниках, представлены в табл. 2 (*Бахмет и др., 2015, Варивода и др., 2021, Ковылева и др., 2021, Погожева и др., 2022, Таранушенко и др., 2020, Dominguez L. J. et al., 2021, Tietel и др., 2018*).

Таблица 2. Содержание витамина D, кальция и магния
в наиболее распространенных природных источниках
Table 2. Content of vitamin D, calcium and magnesium in most common natural sources

Сырье	Содержание нутриента в 100 г продукта		
	Витамин D, мкг	Кальций, мг	Магний, мг
Грибы сморчки сушеные	44,4	374,5	165,5
Рыбий жир (трески)	250	–	–
Грибы шиитаке сушеные	3,9	11	132
Семена чиа	–	631	355
Тыквенные семена	–	46	592
Киноа (сухое)	–	47	197

Основываясь на данных, представленных в табл. 2, можно сделать вывод о том, что наибольшим содержанием витамина D характеризуется рыбий жир, однако кальций и магний в нем содержатся в следовых количествах. Грибы шиитаке имеют более низкую пищевую ценность сравнительно со сморчками. Отсюда следует, что наиболее рационально использовать при разработке хлебобулочного изделия, обогащенного витамином D, сушеные сморчки. Кроме того, сморчки легко поддаются измельчению и в такой форме нормально распределяются в объеме теста.

Тыквенные семена и киноа могут служить источниками магния, однако обладают относительно низким содержанием кальция. Семена чиа являются более предпочтительными при выборе сырья для повышения в хлебобулочных изделиях содержания кальция и магния. Стоит отметить и тот факт, что семена чиа можно использовать в нативном виде, без предварительной тепловой и других видов обработки, что также сохраняет полезные свойства сырья в готовых изделиях.

Употребление в пищу сморчков *Morchella* оказывает положительное влияние на организм человека, включая поддержание иммунной системы и улучшение состояния костной ткани (*Петрова и др., 2022*). Это объясняется тем, что сморчки являются ценным источником витаминов (в том числе витамина D),

² Косован А. П., Дремучева Г. Ф., Поландова Р. Д., Карчевская О. Е. [и др.]. Методическое руководство по определению химического состава и энергетической ценности хлебобулочных изделий. Москва, 2008. 208 с.

минеральных веществ (в том числе кальция и магния) и антиоксидантов. Они также характеризуются относительно низкой калорийностью (Николаева и др., 2021). Таким образом, продукты питания с включенными в рецептуру сморчками смогут поддерживать баланс между костеобразованием и остеорезорбцией, что будет способствовать укреплению костной ткани и предотвращению ее хрупкости.

Семена чиа *Salvia hispanica* являются источником жирных кислот омега-3, пищевых волокон, белков и минеральных веществ, включая кальций и магний. Они обладают антиоксидантными свойствами, способствуя снижению воспалительных заболеваний и поддержанию иммунной системы. В сочетании с другими ингредиентами (сморчками) они могут успешно использоваться для профилактики остеопороза и остеопении, поддерживая баланс кальция и магния в организме и тем самым укрепляя костную ткань (Варивода и др., 2021; Шигина и др., 2021).

В ходе оценки технологических свойств семян чиа и порошка из сморчков и последующего определения возможности применения в производстве хлебобулочных изделий исследованы их органолептические показатели, которые представлены в табл. 3.

Таблица 3. Органолептические показатели семян чиа и порошка из сморчков
Table 3. Sensory characteristics of chia seeds and morel powder

Показатель	Характеристика	
	Семена чиа	Порошок из сморчков
Внешний вид	Мелкие блестящие зерна диаметром около 1 мм	Тонкодисперсный порошок без комочков и посторонних включений
Цвет	Преимущественно черные, иногда кремовые	Черно-коричневый
Вкус	Свойственный семенам чиа с ореховым привкусом	Выраженный грибной
Запах	Без запаха	Выраженный грибной

Таким образом, семена чиа обладают неяркими вкусом и запахом, что позволяет использовать их в рецептурах хлебобулочных изделий в нативном виде. Сдержанные вкус и запах семян чиа дают возможность снизить выраженные грибные вкус и запах порошка из сморчков до допустимых пределов и использовать их сочетание в рецептурах изделий.

Результаты проведения анализа органолептических и физико-химических показателей качества образцов хлебобулочного изделия представлены в табл. 4 и на рис. 1.

Таблица 4. Показатели качества образцов хлебобулочного изделия с использованием семян чиа и порошка из сморчков в сравнении с контрольным образцом

Table 4. Quality indicators of experimental bakery product samples with the use of chia seeds and morel mushroom powder compared with the control sample

Показатели	Образец 1	Образец 2	Образец 3	Образец 4	Образец 5
– органолептические					
Форма	Соответствует форме				
Поверхность	Ровная, гладкая				
Цвет поверхности	Светло-коричневый	Светло-коричневый; небольшое количество темных вкраплений		Коричневый; большое количество темных вкраплений	
Вкус	Характерный для данного вида изделий	Характерный для данного вида изделий; легкий привкус чиа		Характерный для данного вида изделий; привкус чиа и легкий грибной привкус	Не характерный для данного вида изделий; яркий грибной вкус
Запах	Характерный для данного вида изделий	Характерный для данного вида изделий; легкий грибной запах			Не характерный для данного вида изделий; яркий грибной запах
Вид в разрезе	Равномерная пористость	Равномерная пористость; присутствуют темные вкрапления		Равномерная пористость; большое количество темных вкраплений	Равномерная пористость; очень большое количество темных вкраплений

– физико-химические					
Влажность мякиша, %	$41,8 \pm 2,1$	$41,2 \pm 2,1$	$42,3 \pm 2,1$	$42,5 \pm 2,1$	$43,0 \pm 2,2$
Кислотность мякиша, град	$2,6 \pm 0,1$	$3,2 \pm 0,2$	$3,6 \pm 0,2$	$4,0 \pm 0,2$	$4,4 \pm 0,2$
Удельный объем хлеба, см ³ /г	410 ± 21	400 ± 20	390 ± 20	390 ± 20	340 ± 17

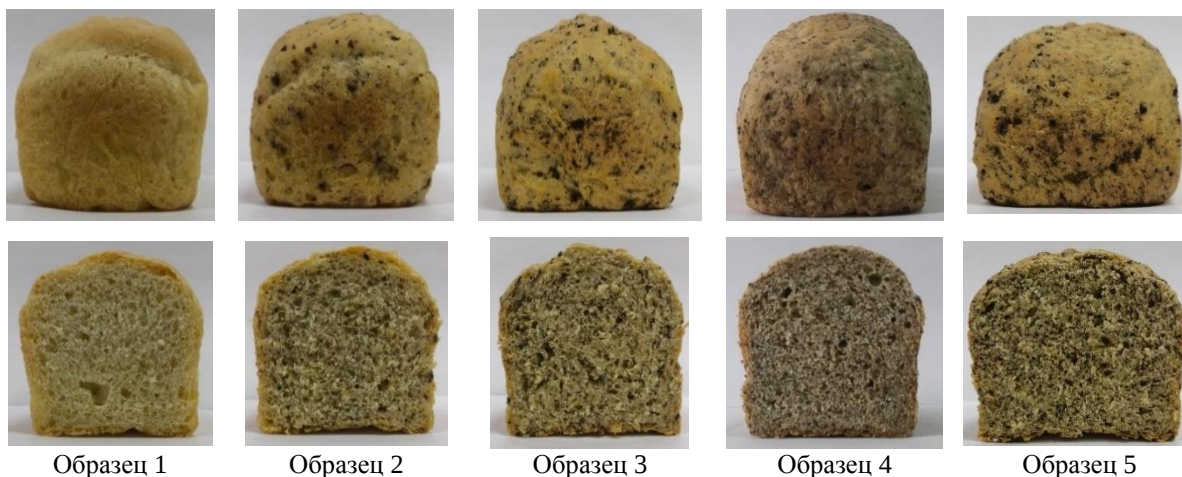


Рис. 1. Внешний вид и вид в разрезе образцов хлебобулочного изделия
Fig. 1. Appearance and cross-sectional view of bakery product samples

Анализ полученных данных показывает, что с увеличением количества порошка из сморчков увеличивается кислотность готового продукта; вероятно, эта зависимость связана с высоким содержанием в грибах органических кислот.

Внесение новых ингредиентов влияет на объем готового изделия: с повышением дозировки сырья наблюдается заметное снижение объема хлеба (с 410 до 340 см³/г), поэтому для достижения оптимальных физико-химических показателей рекомендовано использование семян чиа не более 15 % от массы муки и порошка грибов сморчков не более 6,67 % от массы муки. Важно отметить также и тот факт, что семена чиа хорошо абсорбируют воду, поэтому появляется необходимость повышения влажности теста на 1 % с увеличением их дозировки до 15 % к массе муки.

Результаты балльной оценки органолептических показателей образцов хлебобулочного изделия представлены на рис. 2.

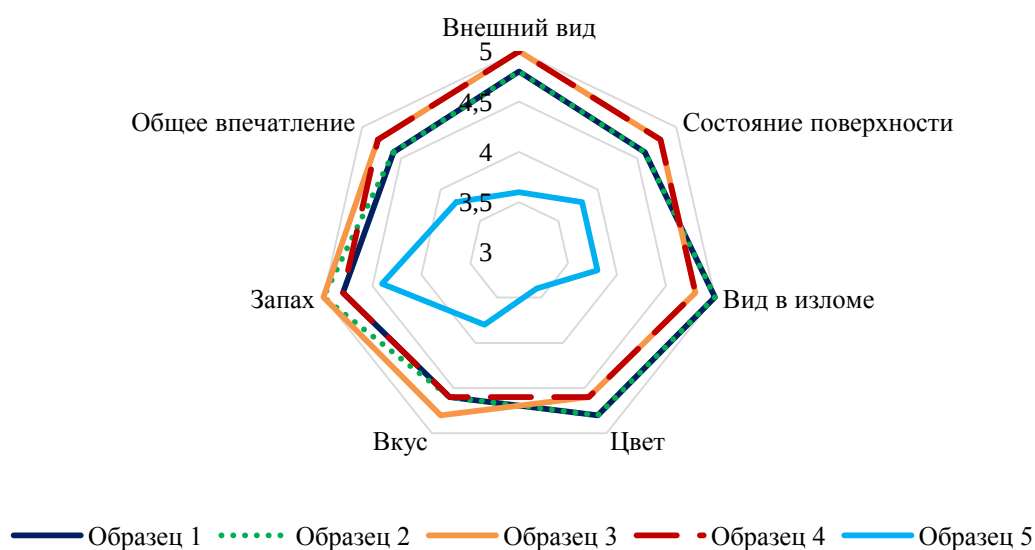


Рис. 2. Дегустационная оценка в баллах экспериментальных образцов хлебобулочных изделий в сравнении с контрольным образцом
Fig. 2. Score of tasting evaluation of experimental bakery product samples compared with the control sample

На основании балльной оценки можно сделать вывод о том, что экспериментальные образцы хлебобулочных изделий 2–4 являются приемлемыми для внедрения, поскольку они отличаются хорошими органолептическими показателями.

При этом оптимальным образцом для последующего расчета пищевой ценности и разработки нормативной и технологической документации был выбран образец 4, поскольку он позволяет покрыть больше 10 % суточной потребности женщин в возрасте 65–74 лет в витамине D, кальции и магнии.

Пищевая ценность контрольного образца 1 и экспериментального образца 4, получившего название "Остеохлеб", представлена в табл. 5.

Таблица 5. Пищевая ценность хлебобулочного изделия "Остеохлеб"
в сравнении с контрольным образцом
Table 5. Nutritional value of the bakery product "Osteohleb" compared with the control sample

Показатель	Суточная потребность	Содержание в 100 г продукта		Степень удовлетворения суточной потребности, %	
		Образец 1	Образец 4 "Остеохлеб"	Образец 1	Образец 4 "Остеохлеб"
Энергетическая ценность, ккал	1 900	279	272	14,7	14,3
Белки, г	67	7,5	8,5	11,3	12,6
Жиры, г	63	1,2	3,9	1,9	6,1
Углеводы, г	266	57,9	50,8	21,8	19,1
Пищевые волокна, г	25	2,1	5,6	8,2	22,5
Витамин D, мкг	20	Сл.	3,2	Сл.	16,0
Кальций, мг	1 200	15,9	147,9	1,3	12,3
Магний, мг	420	20,0	89,3	4,8	21,3

Согласно данным таблицы образец 1 содержит в 1,1 раза больше углеводов в сравнении с образцом 4; его энергетическая ценность больше образца 4 на 7 ккал. Разработанный образец 4 "Остеохлеб" характеризуется большим количеством белка (в 1,1 раза), пищевых волокон (в 2,7), кальция (в 9,3), магния (в 4,5 раза). Витамин D в образце 1 присутствует в следовых количествах; в образце 4 его количество составляет 3,21 мкг.

Таким образом, разработанное хлебобулочное изделие "Остеохлеб" покрывает суточную потребность женщин в возрасте 65–74 лет в веществах, необходимых для правильной работы костно-мышечной системы и положительно влияющих на другие системы организма: в витамине D – на 16,1 %, кальция – на 12,3 %, магния – на 21,3 %.

Выводы

В результате проведенного исследования разработана технология хлебобулочного изделия "Остеохлеб", в которой в качестве сырья (источника витамина D, кальция и магния), оказывающего благоприятное воздействие на опорно-двигательный аппарат, вносили семена чиа в натуральном виде (15 % к общей массе муки) и порошок из сушеных грибов сморчков (6,67 %). Данное количество ингредиентов, полученное в результате предварительного расчета пищевой ценности разрабатываемого изделия, позволило получить готовое изделие с высокими органолептическими показателями и оптимальной пищевой ценностью.

Для выполнения технологии нового вида хлебобулочного изделия "Остеохлеб" разработан проект нормативной документации. В ходе определения пищевой и энергетической ценности установлено, что "Остеохлеб" покрывает суточную потребность взрослого населения (прежде всего женщин в возрасте 65–74 лет, подверженных заболеванию остеопорозом) в витамине D на 16,1 %, кальция – 12,3 %, магния – на 21,3 %.

Разработанная технология рекомендуется для внедрения в производство хлебобулочных изделий. Новый вид изделия "Остеохлеб" необходимо включить в рацион питания людей с повышенным риском заболевания остеопенией и остеопорозом с целью устранения нутриентного дефицита и профилактики указанных патологий. В дальнейшем следует теоретически и экспериментально изучить, как употребление в пищу нового вида хлеба способствует повышению эффективности профилактики заболеваний других групп населения страны.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Библиографический список

- Алексеева В. А. Отдельное фармакоэкономическое исследование лечения остеопении у детей и подростков // сб. материалов XII Всерос. науч. конф. студентов и аспирантов с междунар. участием "Молодая фармация – потенциал будущего", Санкт-Петербург, 14 марта – 18 апреля 2022 г. Санкт-Петербург : СПХФУ, 2022. С. 965–967. EDN: GPREVZ.
- Алексеева В. А., Овсянкин А. В., Кузьмина Е. С., Крикова А. В. [и др.]. Профилактика и лечение остеопений у детей и подростков в Российской Федерации // Вестник Смоленской государственной медицинской академии. 2021. Т. 20, № 3. С. 72–79. DOI: <https://doi.org/10.37903/vsgma.2021.3.8>. EDN: NLCHSS.
- Баженова Д. С., Айрапетян К. Э., Голованова Е. Д., Михайлик Д. С. Старение костной ткани у женщин зрелого и пожилого возраста // Вестник Смоленской государственной медицинской академии. 2022. Т. 21, № 1. С. 39–46. DOI: <https://doi.org/10.37903/vsgma.2022.1.6>. EDN: VPRCQO.
- Бахмет М. П., Мацакова Н. В., Меретукова С. Б., Касьянов Г. И. [и др.]. Разработка технологии производства печенья из смеси ржаной муки и муки крупяных культур // Известия высших учебных заведений. Пищевая технология. 2015. № 4(346). С. 72–74. EDN: ULUOLD.
- Варивода А. А., Кений Н. В. Сравнительный анализ биологической ценности семян чиа и льна // Технология и товароведение инновационных пищевых продуктов. 2021. № 1(66). С. 79–83. DOI: <https://doi.org/10.33979/2219-8466-2020-66-1-79-83>. EDN: KAGFHG.
- Джатдоева Д. Т., Гочияев А. А., Семенов М. Б., Каппушева З. М. Биологическая роль витамина D // Вестник Казахского национального медицинского университета. 2021. № 2. С. 169–172. DOI: <https://doi.org/10.53065/kaznmu.2021.12.26.030>. EDN: SMRWAV.
- Карпычева В. Р., Джабарова М. Ж., Кузнецов А. С. Прием витамина D и кальция как важная составная часть профилактики остеопороза // World Science: Problems and Innovations : сб. ст. LIV Междунар. науч.-практ. конф., г. Пенза, 30 мая 2021 г. Пенза : МЦНС "Наука и просвещение", 2021. С. 187–191. EDN: AHMRV.
- Ковылева С. П., Алексеев А. Л. Использование семян тыквы в производстве кондитерских изделий: разработка рецептуры печенья с тыквенными семечками // Инновационный путь развития как ответ на вызовы нового времени : сб. ст. междунар. науч.-практ. конф., г. Екатеринбург, 7 ноября 2021 г. Уфа : Omega Science, 2021. С. 47–52. EDN: TDAAFP.
- Николаева М. А., Бакайтис В. И., Рязанова О. А. Влияние химического состава на пищевую ценность свежих грибов // Индустрия питания. 2021. Т. 6, № 3. С. 84–92. DOI: <https://doi.org/10.29141/2500-1922-2021-6-3-10>. EDN: ZHBFOR.
- Петрова М. В., Батыршин О. А. Анализ лекарственных свойств макромицетов Стерлибашевского района // Физика конденсированного состояния и ее приложения : сб. тр. IV Междунар. науч.-практ. конф., Стерлитамак, 22–24 сентября 2022 г. Стерлитамак : Стерлитамакский филиал БашГУ, 2022. С. 428–434. EDN: UVIBNA.
- Погожева А. В., Коденцова В. М., Шарафетдинов Х. Х. Роль магния и калия в профилактическом и лечебном питании // Вопросы питания. 2022. Т. 91, № 5(543). С. 29–42. DOI: <https://doi.org/10.33029/0042-8833-2022-91-5-29-42>. EDN: ILCWFO.
- Таранушенко Т. Е., Киселева Н. Г. Профилактика дефицита кальция у детей // РМЖ. Медицинское обозрение. 2020. Т. 4, № 8. С. 511–517. DOI: <https://doi.org/10.32364/2587-6821-2020-4-8-511-517>. EDN: WHSSVR.
- Шигина Е. С., Полянская И. С. Биокорректирующие свойства семян льна, чиа, зиры, кунжута в составе йогурта // Научные исследования XXI века. 2021. № 3(11). С. 7–11. EDN: LOWOTN.
- Юрьева А. В., Бондаренко М. Т. Пищевые факторы риска остеопороза и остеопении и научное обоснование рационального питания для взрослых и детей // Современные проблемы лингвистики и методики преподавания русского языка в вузе и школе. 2022. № 35. С. 710–721. EDN: UQFKZV.
- Dominguez L. J., Farruggia M., Veronese N., Barbagallo M. Vitamin D sources, metabolism, and deficiency: Available compounds and guidelines for its treatment // Metabolites. 2021. Vol. 11, Iss. 4. Article number: 255. DOI: <https://doi.org/10.3390/metabo11040255>.
- Malluche H. H., Davenport D. L., Lima F., Monier-Faugere M.-C. Prevalence of low bone formation in untreated patients with osteoporosis // PLoS ONE. 2022. Vol. 17, Iss. 7. Article number: e0271555. DOI: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0271555>.
- Martiniakova M., Babikova M., Mondockova V., Blahova J. [et al.]. The role of macronutrients, micronutrients and flavonoid polyphenols in the prevention and treatment of osteoporosis // Nutrients. 2022. Vol. 14, Iss. 3. Article number: 523. DOI: <https://doi.org/10.3390/nu14030523>.
- Tietel Z., Masaphy S. True morels (*Morchella*) – nutritional and phytochemical composition, health benefits and flavor: A review // Critical Reviews in Food Science and Nutrition. 2018. Vol. 58, Iss. 11. P. 1888–1901. DOI: <https://doi.org/10.1080/10408398.2017.1285269>.

References

- Alekseeva, V. A. 2022. A separate pharmacoeconomic study of the treatment of osteopenia in children and adolescents. Proceedings of All-Russia conf. *Young pharmacy – the potential of the future*, Saint-Petersburg, 14 March – 18 April 2022. Saint-Petersburg, pp. 965–967. EDN: GPREVZ. (In Russ.)
- Alekseeva, V. A., Ovsyankin, A. V., Kuzminova, E. S., Krikova, A. V. et al. 2021. Prevention and treatment of osteopenia in children and adolescents in the Russian Federation. *Vestnik of the Smolensk State Medical Academy*, 20(3), pp. 72–79. DOI: <https://doi.org/10.37903/vsgma.2021.3.8>. EDN: NLCHSS. (In Russ.)
- Bazhenova, D. S., Ayrapetyan, K. E., Golovanova, E. D., Mihalik, D. S. 2022. Bone tissue aging in mature and elderly women. *Vestnik of the Smolensk State Medical Academy*, 21(1), pp. 39–46. DOI: <https://doi.org/10.37903/vsgma.2022.1.6>. EDN: VPRCQO. (In Russ.)
- Bakhmet, M. P., Matsakova, N. V., Meretukova, S. B., Kasyanov, G. I. et al. 2015. Development of production technology of biscuits of mix rye flour and cereals flour. *Izvestiya VUZOV. Food Technology*, 4(346), pp. 72–74. EDN: ULUOLD. (In Russ.)
- Varivoda, A. A., Kenijz, N. V. 2021. Comparative analysis of the biological value of chia and flax seeds. *Technology and Merchandising of the Innovative Foodstuff*, 1(66), pp. 79–83. DOI: <https://doi.org/10.33979/2219-8466-2020-66-1-79-83>. EDN: KAGFHG. (In Russ.)
- Dzhatdoeva, D. T., Gochiyayev, A. A., Semenov, M. B., Kappusheva, Z. M. 2021. The biological role of vitamin D. *Bulletin of the Kazakh National Medical University*, 2, pp. 169–172. DOI: <https://doi.org/10.53065/kaznmu.2021.12.26.030>. EDN: SMRWAV. (In Russ.)
- Karpycheva, V. R., Dzhabarova, M. Zh., Kuznetsov, A. S. 2021. Vitamin D and calcium intake as an important part of osteoporosis prevention. Proceedings of Intern. conf. *World Science: Problems and Innovations*, Penza, 30 May 2021. Penza, pp. 187–191. EDN: AHEMRV. (In Russ.)
- Kovyleva, S. P., Alekseev, A. L. 2021. Use of pumpkin seeds in the production of confectionery products: Development of a cookie with pumpkin seeds. Proceedings of Intern. conf. *Innovative path of development as a response to the challenges of the new time*, 7 November 2021. Ufa, pp. 47–52. EDN: TDAAFP. (In Russ.)
- Nikolaeva, M. A., Bakaitis, V. I., Ryazanova, O. A. 2021. Chemical composition influence on the nutritional value of fresh mushrooms. *Food Industry*, 6(3), pp. 84–92. DOI: <https://doi.org/10.29141/2500-1922-2021-6-3-10>. EDN: ZHBFOR. (In Russ.)
- Petrova, M. V., Batyrshin, O. A. 2022. Analysis of medicinal properties of macromycetes of Sterlibashevsky district. Proceedings on Intern. conf. *Physics of condensed matter and its applications*, 22–24 September 2022. Sterlitamak, pp. 428–434. EDN: UVIBNA. (In Russ.)
- Pogozheva, A. V., Kodentsova, V. M., Sharafetdinov, H. H. 2022. The role of magnesium and potassium in preventive and therapeutic nutrition. *Problems of Nutrition*, 91(5(543)), pp. 29–42. DOI: <https://doi.org/10.33029/0042-8833-2022-91-5-29-42>. EDN: ILCWFO. (In Russ.)
- Taranushenko, T. E., Kiseleva, N. G. 2020. Prevention of calcium deficiency in children. *Russian Medical Inquiry*, 4(8), pp. 511–517. DOI: <https://doi.org/10.32364/2587-6821-2020-4-8-511-517>. EDN: WHSSVR. (In Russ.)
- Shigina, E. S., Polyanskaya, I. S. 2021. Biocorrective properties of flax, chia, zira and sesame seeds in yoghurt. *Nauchnye Issledovaniya XXI Veka*, 3(11), pp. 7–11. EDN: LOWOTN. (In Russ.)
- Yuryeva, A. V., Bondarenko, M. T. 2022. Nutritional risk factors for osteoporosis and osteopenia and scientific justification for rational nutrition for adults and children. *Sovremennye problemy lingvistiki i metodiki prepodavaniya russkogo yazyka v vuze i shkole*, 35, pp. 710–721. EDN: UQFKZV. (In Russ.)
- Dominguez, L. J., Farruggia, M., Veronese, N., Barbagallo, M. 2021. Vitamin D sources, metabolism, and deficiency: Available compounds and guidelines for its treatment. *Metabolites*, 11(4). Article number: 255. DOI: <https://doi.org/10.3390/metabo11040255>.
- Malluche, H. H., Davenport, D. L., Lima, F., Monier-Faugere, M.-C. 2022. Prevalence of low bone formation in untreated patients with osteoporosis. *PLoS ONE*, 17(7). Article number: e0271555. DOI: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0271555>.
- Martiniakova, M., Babikova, M., Mondockova, V., Blahova, J. et al. 2022. The role of macronutrients, micronutrients and flavonoid polyphenols in the prevention and treatment of osteoporosis. *Nutrients*, 14(3). Article number: 523. DOI: <https://doi.org/10.3390/nu14030523>.
- Tietel, Z., Masaphy, S. 2018. True morels (*Morchella*) – nutritional and phytochemical composition, health benefits and flavor: A review. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 58(11), pp. 1888–1901. DOI: <https://doi.org/10.1080/10408398.2017.1285269>.

Сведения об авторах

Иванова Наталья Геннадьевна – ул. Земляной Вал, 73, г. Москва, Россия, 109004;
Московский государственный университет технологий и управления им. К. Г. Разумовского (ПКУ),
канд. техн. наук, доцент; e-mail: n.ivanova@mgutm.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3878-6355>

Natalia G. Ivanova – 73 Zemlyanoi Val, Moscow, Russia, 109004; K. G. Razumovsky Moscow State
University of Technologies and Management (The First Cossack University),
Cand. Sci. (Engineering), Associate Professor;
e-mail: n.ivanova@mgutm.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3878-6355>

Нагуманова Алина Олеговна – ул. Земляной Вал, 73, г. Москва, Россия, 109004;
Московский государственный университет технологий и управления им. К. Г. Разумовского (ПКУ),
студент; e-mail: nagumanova.alina64@gmail.com, ORCID: <https://orcid.org/0009-0001-7570-0015>

Alina O. Nagumanova – 73 Zemlyanoi Val, Moscow, Russia, 109004;
K. G. Razumovsky Moscow State University of Technologies and Management (The First Cossack University),
Student; e-mail: nagumanova.alina64@gmail.com, ORCID <https://orcid.org/0009-0001-7570-0015>

Сапожников Александр Николаевич – пр. Карла Маркса, 26, г. Новосибирск, Россия, 630087;
Сибирский университет потребительской кооперации (СибУПК);
пр. Карла Маркса, 20, г. Новосибирск, Россия, 630073;
Новосибирский государственный технический университет, канд. техн. наук, доцент;
e-mail: alexnsk@ya.ru, ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-5335-4457>

Aleksandr N. Sapozhnikov – 26 K. Marksa Ave., Novosibirsk, Russia, 630087;
Siberian University of Consumer Cooperation;
20 K. Marksa Ave., Novosibirsk, Russia, 630073; Novosibirsk State Technical University,
Cand. Sci. (Engineering), Associate Professor;
e-mail: alexnsk@ya.ru, ORCID <http://orcid.org/0000-0002-5335-4457>

Нормативные документы, использованные в статье

ГОСТ 26574-2017	Мука пшеничная хлебопекарная. Технические условия. URL: https://docs.cntd.ru/document/1200157423
ГОСТ Р 54731-2011	Дрожжи хлебопекарные прессованные. Технические условия. URL: https://docs.cntd.ru/document/1200089988
ГОСТ Р 51574-2018	Соль пищевая. Общие технические условия. URL: https://docs.cntd.ru/document/1200159300
МР 2.3.1.0253-21	Нормы физиологических потребностей в энергии и пищевых веществах для различных групп населения Российской Федерации" (утв. Федеральной службой по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека 22 июля 2021 г.). Москва, 2021. 72 с.
ГОСТ 5667-2022	Изделия хлебобулочные. Правила приемки, методы отбора образцов, методы определения органолептических показателей и массы изделий. URL: https://docs.cntd.ru/document/350939603
ГОСТ 33318-2015	Грибы сушеные. Технические условия. URL: https://docs.cntd.ru/document/1200123279
ГОСТ 27669-88	Мука пшеничная хлебопекарная. Метод пробной лабораторной выпечки хлеба. URL: https://docs.cntd.ru/document/1200022388
ГОСТ 5670-96	Хлебобулочные изделия. Методы определения кислотности. URL: https://docs.cntd.ru/document/1200021542
ГОСТ 21094-2022	Изделия хлебобулочные. Методы определения влажности. URL: https://docs.cntd.ru/document/1200193710

УДК 025.4 : 664

Перспективы использования муки из зернобобовых культур: библиометрический обзор и визуализация научных исследований

Е. Н. Молчанова*, Д. Е. Яблочкин, А. Э. Гегер

**Российский биотехнологический университет (РОСБИОТЕХ), г. Москва, Россия;*

e-mail: molchanova@mgupp.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0708-1694>

Информация о статье Реферат

Поступила
в редакцию
09.04.2025;

получена
после доработки
06.06.2025;

принята
к публикации
17.06.2025

Ключевые слова:

R-Bibliometrix,
публикационная
активность,
тематическая карта,
анализ ключевых слов,
тематическая эволюция,
темы исследований,
характеристики

Зернобобовые являются важнейшими компонентами здорового рациона, обеспечивая организм человека необходимыми питательными веществами и оказывая положительное воздействие на здоровье. В ходе библиометрического анализа научной литературы, посвященной муке из зернобобовых культур, использовались базы данных Scopus и пакет программного обеспечения R-Bibliometrix, основанный на статистических методах обработки публикаций с возможностью визуализации результатов для выявления закономерностей. Экспоненциальный рост публикационной активности наблюдался с 2017 г., что связано с объявлением Ассамблеей ООН 2016 г. Международным годом зернобобовых и дальнейшим ростом сотрудничества между странами. Высокий процент международного соавторства подчеркивал участие различных стран в исследованиях свойств и технологии применения муки из зернобобовых; наибольший вклад внесли ученые из Китая, США и Индии. Основная тематика исследований связана с химическими методами анализа. Тематическая эволюция и кластеризация ключевых слов оценивались во временном интервале, в течение которого оставались значимыми тематические узлы, связанные с терминами "ферменты" и "ферментация". Развитие тематик визуализировано в виде тематических карт. Моторными являлись темы исследований, посвященные антиоксидантной активности, реологическим свойствам и изучению компонентов крахмала; базовыми и растущими – темы, связанные с процессами ферментации и разработкой технологии безглютеновых продуктов. Полученные результаты могут быть использованы отечественными учеными для оценки и планирования исследовательских работ в области изучения муки из зернобобовых в контексте мировых тенденций.

Для цитирования

Молчанова Е. Н. и др. Перспективы использования муки из зернобобовых культур: библиометрический обзор и визуализация научных исследований. Вестник МГТУ. 2025. Т. 28, № 3. С. 414–428. DOI: <https://doi.org/10.21443/1560-9278-2025-28-3-414-428>.

Prospects for the use of flour from grain pulses: A bibliometric review and visualization of scientific research

Elena N. Molchanova*, Daniil E. Yablochkin, Alexey E. Geger

**ROSBIOTECH university, Moscow, Russia;*

e-mail: molchanova@mgupp.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0708-1694>

Article info

Received
09.04.2025;

received
in revised
06.06.2025;

accepted
17.06.2025

Key words:

R-Bibliometrix,
publication activity,
thematic map,
keyword analysis,
thematic evolution,
research topics
characteristics

Abstract

Pulses are essential components of a healthy diet, providing the human body with basic nutrients and having a positive effect on health. In the course of a bibliometric analysis of the scientific literature on pulse flour, Scopus databases and the R-Bibliometrix software package have been used based on statistical methods of processing publications with the ability to visualize the results to identify patterns. Exponential growth of publication activity is being observed since 2017, which is associated with the declaration of 2016 as the International Year of Pulses by the UN General Assembly and further growth of cooperation between countries. A high percentage of international co-authorship emphasized the participation of various countries in research into the properties and technology of using pulse flour; the greatest contribution has been made by scientists from China, the USA and India. The main topics of research are related to chemical methods of analysis. Thematic evolution and clustering of keywords have been assessed in the time interval during which thematic nodes associated with the terms "enzymes" and "fermentation" remained significant. The development of topics is visualized in the form of thematic maps. The motor topics are those devoted to antioxidant activity, rheological properties, and the study of starch components; the basic and growing topics are those related to fermentation processes and the development of gluten-free product technology. The results obtained can be used by domestic scientists to assess and plan research in the field of studying flour from grain legumes in the context of global trends.

For citation

Molchanova, E. N. et al. 2025. Prospects for the use of flour from grain pulses: A bibliometric review and visualization of scientific research. *Vestnik of MSTU*, 28(3), pp. 414–428. (In Russ.) DOI: <https://doi.org/10.21443/1560-9278-2025-28-3-414-428>.

Введение

Зернобобовые культуры являются источником белка, пищевых волокон, ряда витаминов группы В (прежде всего фолиевой кислоты), минералов (калия, магния, железа, цинка). Профиль незаменимых аминокислот более сбалансирован по сравнению с зерновыми культурами, а особенности углеводного состава, в том числе наличие резистентного крахмала, способствуют низкому гликемическому индексу. По данным Всемирной организации здравоохранения, зернобобовые (выращиваемые для получения сухого зерна) являются важнейшими компонентами ежедневного рациона. Потребление этих культур связано с уменьшением риска развития неинфекционных заболеваний и поддержанием здорового веса тела. Зернобобовые оказывают положительное воздействие на окружающую среду, доступны по цене и стабильны при хранении.

Во многих странах мира разработаны национальные рекомендации содействия здоровому образу жизни, основанные на глобальных решениях ФАО/ВОЗ и ООН, акцентирующих внимание на регулярном употреблении в пищу зернобобовых, а также проводятся мероприятия, направленные на изменение пищевых привычек населения (*Молчанова и др., 2023*). Эффективными способами увеличения потребления зернобобовых в ежедневном рационе является использование данных культур в виде муки для приготовления хлебобулочных и макаронных изделий и их применение в нетрадиционном качестве, например в виде сладостей (*Молчанова и др., 2018*). Новые виды муки с различным содержанием белка, полученные методом сухого фракционирования, открывают возможности целенаправленного использования фракций не только в мучных изделиях, но и в молочных и мясных альтернативах (*Fernando, 2021*).

Несмотря на питательные преимущества зернобобовых, из-за особенностей химического состава и отсутствия клейковинных белков технологические свойства бобовой муки не способствуют формированию хлебобулочных изделий хорошего качества. Термическая обработка полуфабрикатов во время выпечки оказывается не всегда эффективной для инактивации антипитательных факторов (ингибиторов протеолитических ферментов, фитиновой кислоты, танинов, сапонинов и др.) по сравнению с традиционной гидротермической обработкой. Известно, что данные факторы при высоких концентрациях могут резко снизить биодоступность многих питательных веществ и таким образом помешать их усвоению (*Garrido-Galand et al., 2021*). Поэтому активно продолжается изучение инновационных подходов к технологии обработки муки из зернобобовых культур для улучшения ее сенсорных и функциональных свойств и увеличения биодоступности элементов. Инновационные разработки актуальны также в связи с возросшим интересом населения к безглютеновой продукции.

В настоящее время библиометрический анализ рассматривается в качестве нового и востребованного подхода к исследованиям в различных научных областях. Современные программные инструменты значительно упростили и ускорили его применение, открывая новые возможности для анализа научной информации (*Moral-Munoz et al., 2020; Szomszor et al., 2021; Eck van et al., 2009*).

Использование в пакетных программах статистических методов для обработки публикаций обеспечивает объективный и надежный анализ взаимосвязей, позволяет отслеживать эволюцию исследований и определять новые тенденции. Возможности визуализации способствуют быстрому выявлению особенностей и закономерностей развития каких-либо явлений при применении больших объемов данных.

Библиометрический анализ в области пищевой промышленности представлен в ограниченном количестве и встречается только в зарубежных источниках. Публикации касаются различных аспектов, рассматриваются процессы хранения и биоконсервации (*Anumudu et al., 2022; Stopar et al., 2022; Silva da et al., 2025*), технологические решения при обработке сырья и готовых продуктов (*Ribeiro et al., 2022; Silva et al., 2022; Biazatti et al., 2024; Olaoye et al., 2024; Maspeke et al., 2024*), вопросы оценки качества (*Lysova et al., 2025*). Библиометрические исследования посвящены некоторым продуктам: псевдозерновым, орехам, маслу авокадо, спирулينه, заменителям мяса и др. (*Akin et al., 2023; Sharma et al., 2024; Souza de et al., 2024; Mishra et al., 2024; Sendhil et al., 2024; Fernando et al., 2025; Petrescu-Mag et al., 2025*), белковыми компонентам (*Pacheco et al., 2024*), а также малоизученным видам сырьевых ресурсов (*Ochoa-Ocampo et al., 2025; Fernandes et al., 2024; Sganzerla et al., 2022; Costa et al., 2022; Melo de et al., 2021*). Следует отметить, что работ, касающихся системного анализа исследований муки из зернобобовых, в научной литературе не выявлено.

Целью данной работы являлся комплексный библиометрический анализ научной литературы и визуализация тенденций исследований, посвященных изучению муки из семян зернобобовых культур.

Материалы и методы

В качестве источника публикаций использовали базу данных Scopus от Elsevier, характеризующуюся доступностью, разнообразием научных источников и цитирований, а также высокой репутацией в академическом

сообществе. Чтобы обеспечить качество и релевантность исследований, для поиска литературы применяли термины на английском языке, доминирующем в научных коммуникациях.

Термины были связаны с мукой из зернобобовых и включали названия основных видов (нут, маш, горох, чечевица, фасоль Черный глаз) и были объединены с помощью соответствующих булевых операторов с исключением термина "животн*", (("legume" OR "bean" OR "chickpea" OR "mung" OR "pea" OR "lentil" OR "black-eyed pea" OR "cowpea") "flour" NOT "animal"). Стратегия поиска предполагала требования к критериям публикаций: на начальном этапе были исключены письма, редакционные статьи, новости, комментарии и мнения, в дальнейшем для анализа использовалась только литература, обозначенная как "исследовательские статьи".

Для выполнения описательного библиометрического анализа и получения визуальных данных использован программный пакет инструмента R-Bibliometrix (<https://www.bibliometrix.org>, версия 3.4.4, <https://www.bibliometrix.org/home/>), который включает импорт данных, преобразование, анализ и научную визуализацию на основе оптимизации описательного статистического анализа элементов публикаций и отвечает основным требованиям библиометрии (Aria et al., 2017).

Данные извлечены и загружены в форматах CVS и BibTex 18 февраля 2025 г. Полученный файл в дальнейшем использовался для анализа документов за период с первого упоминания до 2025 г. Для анализа публикационной активности, выявления взаимосвязи между исследованиями в различных странах, а также визуального анализа ключевых слов и их эволюции рассматривались данные за 55 лет (1970–2025 гг.).

Результаты и обсуждение

Тенденции публикационной активности и цитирования

Изменение количества опубликованных статей с течением времени является фундаментальным библиометрическим показателем, отражающим ежегодные изменения публикационной активности и динамику интереса к данной исследовательской теме.

На начальном этапе рассматривались публикации на английском языке, связанные с исследованиями муки из зернобобовых. Первая публикация, в которой упоминалась мука из бобовых, была датирована 1844 г. и касалась обогащения рационов.

В ходе библиометрического поиска, начиная с первого упоминания о муке из зернобобовых культур, найдено 14 274 документа, включая 9 992 исследовательские статьи (70 %), 955 обзорных статей (6,69 %), 509 докладов на конференциях (3,56 %), 1 714 глав книг (12 %), 1 104 другие публикации (7,73 %).

После удаления дубликатов и исключения нерелевантной литературы окончательное количество полученных записей, используемых для анализа с помощью R-Bibliometrix, составило 9 104 (табл. 1). Статьи были написаны 32 630 учеными.

Таблица 1. Описательная статистика публикационной активности
Table 1. Descriptive statistics of publication activity

Основная информация о публикациях	
Период времени	1844–2025 гг.
Количество исследовательских статей в научных журналах	9 104,0
Количество публикаций в других источниках (журналах, книгах и т. д.)	729,0
Годовой темп роста количества публикаций, %	2,79
Средний возраст публикации, годы	13,1
Среднее количество цитирований на 1 публикацию	47,47
Количество ключевых слов	7 526,0
Основная информация об авторах	
Количество авторов	30 942,0
Количество авторов с одной статьей	22 641,0
Количество публикаций, созданных одним автором	661,0
Информация о сотрудничестве авторов	
Соавторство на 1 публикацию	4,71
Международное соавторство, %	29,38

Показатели темпа роста публикаций (на 2,8 %), среднее количество цитирований (более 47) свидетельствует о положительной динамике интереса к данной теме исследований. Высокий процент международного соавторства (29,4 %) подчеркивает возможность привлечения иностранных исследователей для работы над заданной тематикой.

В дальнейшем для анализа и визуализации рассматривались исследовательские статьи с 1970 г.; их общее количество составило 8 768 (96,3 % от количества всех статей). Изменение количества публикаций в течение этого времени отражено на рис. 1.

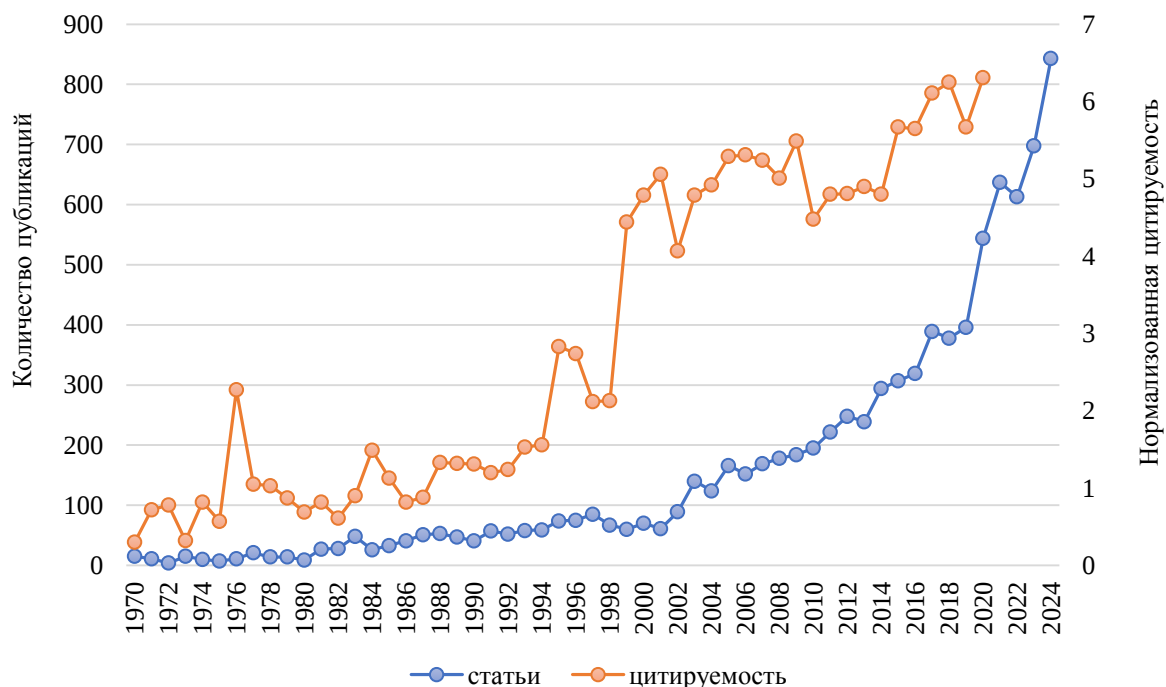


Рис. 1. Количество публикаций и нормализованная цитируемость
Fig. 1. Number of publications and normalized citations

Начальный этап (1970–2002 гг.) характеризуется ограниченным вниманием и относительно низкой публикационной активностью по отношению к указанной тематике (в среднем около 50 публикаций в год). Однако можно предположить, что ранние исследования создали надежную теоретическую основу для потенциального использования результатов в практических аспектах. Далее наблюдался устойчивый рост числа статей (до 319 публикаций в 2016 г.). Такая тенденция показывает становление исследовательской темы и признание ее важности. Ассамблея Организации Объединенных Наций провозгласила 2016 год Международным годом зернобобовых, что оказало существенное влияние на развитие научных исследований, стимулируя инновации и международное сотрудничество в этой области. Множество конференций, семинаров и образовательных мероприятий, проведенных в рамках данного события, способствовали обмену знаниями и передовыми практиками. Поэтому третий этап (с 2017 г.) характеризовался резким экспоненциальным всплеском активности: было опубликовано 4 500 работ (в среднем более 560 статей в год), что составило более 50 % от общего числа публикаций с 1970 г. В качестве самого продуктивного года отмечен 2024 г.: количество статей достигло 843, что характеризует зрелость и расширение исследований свойств и способов применения муки из зернобобовых.

Количество цитирований также показало тенденции к росту; в среднем показатель нормализованной цитируемости увеличивался волнообразно; после 2000 г. наблюдался резкий рост, что указывает на усиление интереса к данной области знаний.

Вклад разных стран в исследования

Анализируя регионы авторской принадлежности, можно визуализировать общий интерес к исследованиям и оценить их влияние на развитие данной тематики. В рамках изучения публикационной активности проанализирован вклад 129 стран в исследования муки из зернобобовых. В табл. 2 проиллюстрирована активность десяти ведущих стран и в том числе рассмотрен показатель количества статей с участием авторов других стран. Общее количество статей, опубликованных этими странами, составляет более половины всех работ (53,3 %). Китай занимает лидирующее положение (1 425 публикаций, 15,7 % от общего количества статей), затем следуют США и Индия (708 и 683 статьи соответственно). Необходимо отметить высокий уровень международного сотрудничества (27–35 %) почти для всех стран, что косвенно указывает на актуальность данной темы.

Таблица 2. Список стран, публикующих статьи по заданной тематике
Table 2. List of countries publishing articles on a given topic

Страна	Количество публикаций			Доля публикаций, %	Доля публикаций с международным соавторством, %
	всего	с внутренним соавторством	с международным соавторством		
Китай	1 425	990	435	15,7	30,5
США	708	516	192	7,8	27,1
Индия	683	569	114	7,5	16,7
Бразилия	409	298	111	4,5	27,1
Канада	365	252	113	4,0	31
Испания	354	246	108	3,9	30,5
Италия	288	195	93	3,2	32,3
Австралия	228	148	80	2,5	35,1
Турция	212	174	38	2,3	17,9
Мексика	174	115	59	1,9	33,9

Визуализация публикационной активности с помощью цветовой шкалы (рис. 2) продемонстрировала, что исследования по данной тематике проводятся практически во всех регионах мира, включая Африку и Южную Америку. Этот факт свидетельствует о глобальном интересе к изучению муки из зернобобовых культур.

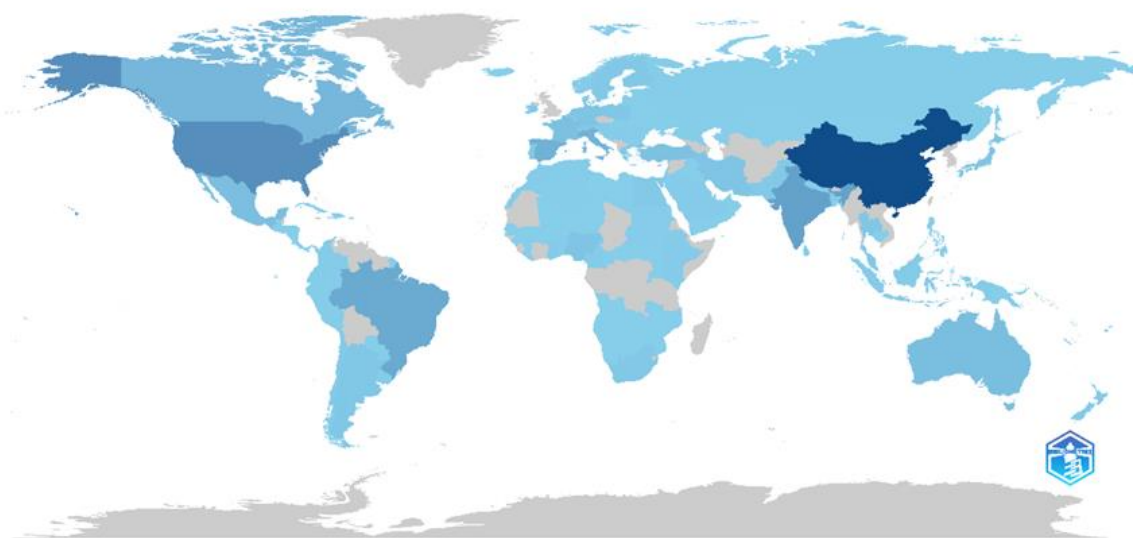


Рис. 2. Визуализация публикационной активности в разных странах
Fig. 2. Visualization of publication activity in different countries

В Южном полушарии в 2000–2022 гг. производство бобовых культур увеличилось примерно на 20–30 %, что обусловлено несколькими факторами, включая рост спроса на растительные белки. Расширение посевных площадей также сыграло важную роль в увеличении производства, способствовало активному участию стран Южного полушария в глобальных рынках и удовлетворению растущих потребностей населения в бобовых культурах (Fukah et al., 2024). Таким образом, исследование муки из зернобобовых становится все более актуальным как для научного сообщества, так и для сельскохозяйственного сектора различных стран.

Анализ сочетаемости ключевых слов

Ключевые слова отражают основные концепции и содержание публикаций и являются выражением центральных тем и направлений исследования.

Анализ сочетаемости ключевых слов определяет взаимосвязи между различными темами исследований, методами и концепциями, облегчая выявление популярных тематик и тенденций исследований в данной области. Инструмент R-Bibliometrix позволил выявить 50 основных ключевых слов из рассматриваемых статей с указанием количества упоминаний в публикациях и процентного соотношения к их сумме.

При составлении концептуальной структурной карты слов предварительно был проведен этап сортировки ряда терминов, включавший объединение слов и выражений, обозначающих один и тот же термин под разными названиями (например, "фермент" и "энзим"), а также группировку терминов, относящихся к одному общему понятию (например, "различные виды камеди"). Кроме того, были объединены слова, связанные тематически [например, "антиоксидантная активность", "DPPH" (метод определения антиоксидантной активности), "проантоцианидины" и др.]. Такой подход позволил более точно структурировать информацию и визуализировать ключевые слова по исследуемой теме.

Для получения конкретных данных по основным ключевым словам, термины, обозначающие область науки, были выделены и рассмотрены в отдельном кластере (рис. 3), что показывает междисциплинарный характер изучения.



Рис. 3. Диаграмма основных областей знаний
Fig. 3. Diagram of the main fields of knowledge

Суммарно на эти области науки приходилось 21 553 ключевых слова (25 % всех ключевых слов). Междисциплинарные исследования, посвященные муке из зернобобовых, подчеркивают необходимость глубоких и разнообразных знаний в этой области.

Значительная доля исследований приходилась на химические и биологические науки, особенно биохимию и органическую химию, а также на науку о пище. Данные области знаний связаны с изучением химического состава макро- и микронутриентов, ферментативных процессов, методов выделения отдельных фракций для получения функциональных ингредиентов и др. Поскольку известно, что использование зернобобовых оказывает влияние на профилактику ряда заболеваний, пакетом R-Bibliometrix сформирован раздел, касающийся медицины. Состав рецептурной смеси имеет решающее значение в качестве текстурных свойств теста, поэтому на диаграмме показаны разделы по реологии и термодинамике. Активное использование статистических методов обработки результатов, планирования экспериментов и моделирования процессов и рецептур нашли отражение в разделе математических наук. Раздел ядерной химии связан с новейшими методами исследований компонентного состава. Таким образом, междисциплинарные исследования позволяют

рассматривать результаты с разных точек зрения, что не только способствует развитию теории, но и предоставляет широкий спектр возможностей для практического применения.

Наиболее часто встречающиеся слова, определенные пакетом R-Bibliometrix, показаны в виде карты словесного дерева (рис. 4); для удобства рассмотрения представлена визуализация 26 наиболее значимых слов.



Рис. 4. Древоидная карта наиболее встречаемых слов

Fig. 4. Tree map representations of the top author keywords

Размер "окна", принадлежащего ключевому слову, отражает частоту его появления в наборе данных, число указывает на его появление в публикациях, соответствующий процент отражает относительную частоту встречаемости. Оставшиеся вне карты ключевые слова: бизнес, окружающая среда, камеди, экстракция, аминокислоты, вязкость, гликемический индекс, ингибиторы трипсина, отруби, фракционирование, глобулины, холестерин и др.

На 50 значимых слов приходилось 12 577 упоминаний, что составило 15 % всех ключевых слов используемых в статьях. Таким образом, с помощью пакета R-Bibliometrix было охвачено 40 % ключевых слов, наиболее часто упоминаемых в статьях по изучаемой тематике.

Ключевое слово "хроматография" (частота упоминаний 2 735) является самым популярным, так как используется для изучения физико-химических свойств веществ и определения количественных характеристик различных соединений: органических кислот (*Montemurro et al., 2025*) при рассмотрении спонтанной или направленной ферментации; олигосахаридов в муке, закваске и готовом изделии (*Vurro et al., 2024*); свободного аспарагина и акриламида в печенье, приготовленном с использованием бобовой муки (*Schouten et al., 2023*); фитатов (*Šaula et al., 2025*). Кроме того, хроматографический анализ имеет несколько видов (высокоэффективная жидкостная, тонкослойная, газовая хроматография, хроматермография и др.), которые используются при решении различных задач в исследовательской деятельности.

Вторым по популярности было слово "крахмал" (1 949 упоминаний). Исследования, сосредоточенные на крахмале, связаны с получением новых физико-химических и техно-функциональных свойств бобовых крахмалов. Одной из областей интереса к крахмалу зернобобовых является его более низкий гликемический индекс по сравнению с крахмалом злаковых, что связано с различиями в содержании амилозы, резистентного крахмала и характеристиками процесса клейстеризации (*Obadi et al., 2024*).

Термин "фермент" обычно ассоциируется с изучением каталитической активности самих ферментов, которые играют ключевую роль в биохимических реакциях. Однако в контексте муки из бобовых этот термин чаще рассматривается в связи с наличием ингибиторов ферментов, инактивация которых необходима как для качества готового продукта, так и для процессов пищеварения.

Ферментация ассоциируется с процессами брожения, которые играют важную роль в тестоведении, особенно при приготовлении заквасок. Значимость этого ключевого слова подтверждается рядом других терминов, встречающихся в исследованиях, таких как "микроорганизмы", "пшеничная мука" и "безглютеновая продукция".

Антиоксидантные свойства бобовых обусловлены наличием фенольных соединений, которые обладают множеством биологических эффектов, включая антиатерогенный, противовоспалительный, противомикробный и кардиопротекторный.

Основными группами фенольных соединений, обнаруженных в зернобобовых культурах, являются фенольные кислоты, флавоноиды, флавоны, флавонолы и конденсированные танины (проантоцианидины). Исследования антиоксидантных свойств в бобовых связаны как с изучением фенольного профиля, так и с изменениями в ходе хранения или технологических процессов (Vurro *et al.*, 2024; Magallanes López *et al.*, 2024; Shi *et al.*, 2022).

Среди полисахаридов бобовых важная роль принадлежит пищевым волокнам, которые способствуют здоровью кишечника, регулируют уровень сахара в крови, снижают уровень холестерина (Liu *et al.*, 2024; Magallanes López *et al.*, 2024).

Тематическая кластеризация и эволюция

Ключевые и связанные с ними сопутствующие слова могут быть объединены в кластеры для создания концептуальной структурной карты слов при использовании множественного анализа соответствий. Формирование карты происходит методом факторного анализа с помощью оценки двумерных и многомерных таблиц, содержащих соответствующие ключевые и сопутствующие слова в исследуемой тематике. Чем ближе ключевые слова расположены друг к другу, тем более они взаимосвязаны.

Тематика, посвященная исследованиям муки из зернобобовых, сформирована в виде четырех кластеров: кластер 1 (красный), кластер 2 (зеленый), кластер 3 (фиолетовый), кластер 4 (бирюзовый) (рис. 5).

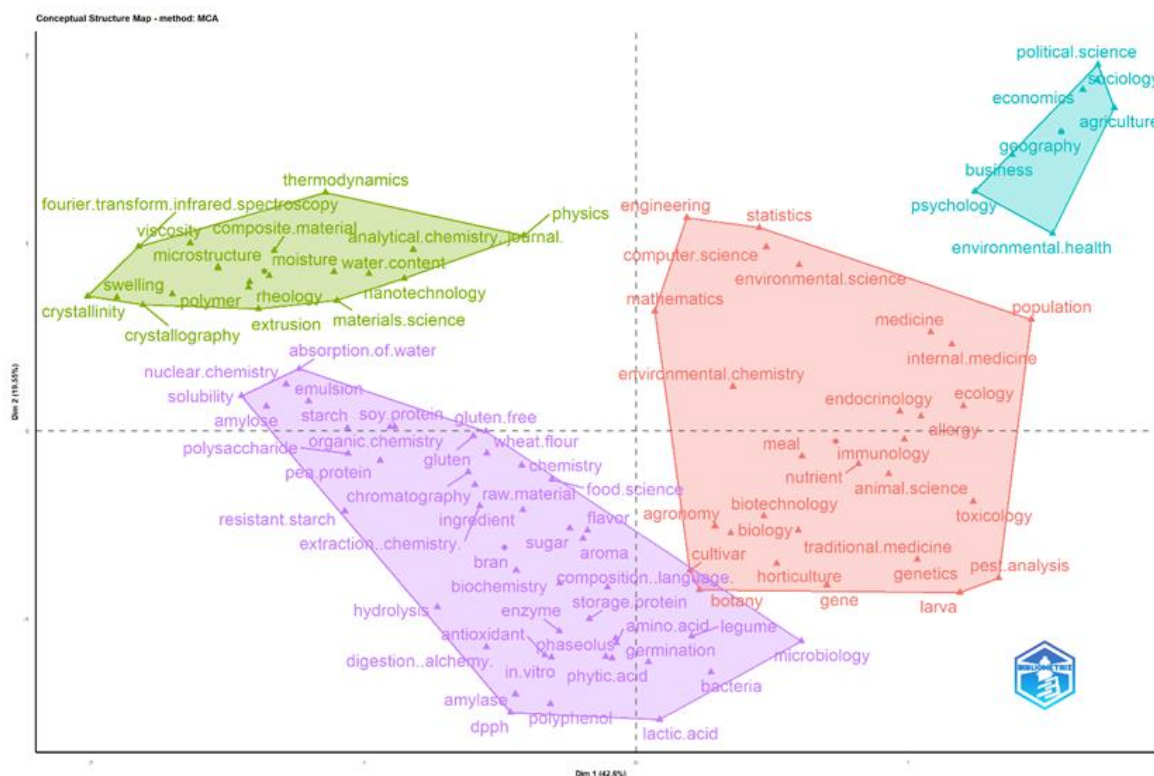


Рис. 5. Концептуальная структурная карта ключевых слов
Fig. 5. Conceptual structural map of keywords

Основные термины связанных областей приведены в табл. 3.

Ключевые слова в кластере I (красный) касаются медицинских аспектов и сопутствующих междисциплинарных тем.

Кластер II (зеленый) фокусируется на ключевых словах, связанных с современными методами исследований, и отображает темы, ответственные за различные характеристики сырьевых компонентов (химические, физические, реологические, термодинамические и др.).

Ключевые слова кластера III (фиолетовый) отражают основные аспекты свойств и применения муки из зернобобовых и характеризуют пищевую науку в целом.

Небольшой кластер IV (бирюзовый) включает несколько гуманитарных тем: экономика, бизнес, психология, социология, политика.

Таблица 3. Основные кластеры и ключевые слова в соответствии с анализом множественных соответствий
Table 3. Main clusters and keywords according to multiple correspondence analysis

Кластер	Основные ключевые слова
Кластер I (красный)	Медицина, нутриент, аллергия, иммунология, эндокринология, биотехнология, математика, статистика, наука об окружающей среде и др.
Кластер II (зеленый)	Фурье-спектроскопия, микроструктура, кристалличность, реология, термодинамика, наука о материалах и др.
Кластер III (фиолетовый)	Крахмал, аминокислоты, глютен /без глютена, пшеничная мука, гидролиз, амилаза, молочная кислота, вкус, аромат и др.
Кластер IV (бирюзовый)	Социология, экономика, бизнес, география, политические науки

Алгоритм множественного анализа соответствий формирует основной кластер ближе к центру. При исследовании муки из зернобобовых основной кластер включает кластеры I и III (красный и фиолетовый), что подтверждается в ходе использования муки в технологических процессах и рассмотрения положительных эффектов сырьевых компонентов на здоровье человека.

Тематический эволюционный анализ – инструмент, позволяющий проследить развитие и изменение ключевых тем и направлений исследований в научных публикациях со временем. Процесс эволюции библиометрических данных можно оценить как с помощью потоковой диаграммы Сэнки (Sankey), так и с помощью тематических карт.

Диаграмма Сэнки отражает тематику исследований (узел), эволюцию и корреляцию в разные периоды, а также направление тенденций и интенсивность развития. Каждый узел на диаграмме представляет отдельную тему, размер узла пропорционален количеству ключевых слов, содержащихся в ней. Линейная связь между узлами представляет эволюционное развитие темы исследования, а ширина указывает на количество общих ключевых слов.

Тематическая эволюция исследований в данной области рассматривалась в четырех периодах (рис. 6) в соответствии с развитием научного интереса: до 1970 г. (минимальное количество статей), 1971–2002 гг. (до 100 статей в год), 2003–2016 гг. (до 300 статей в год) и 2017–2025 гг. (более 300 статей в год). Период 2017–2025 гг. характеризовался быстрым экспоненциальным ростом статей, что свидетельствует о формировании современных тенденций, образующих крупные кластеры тематик.

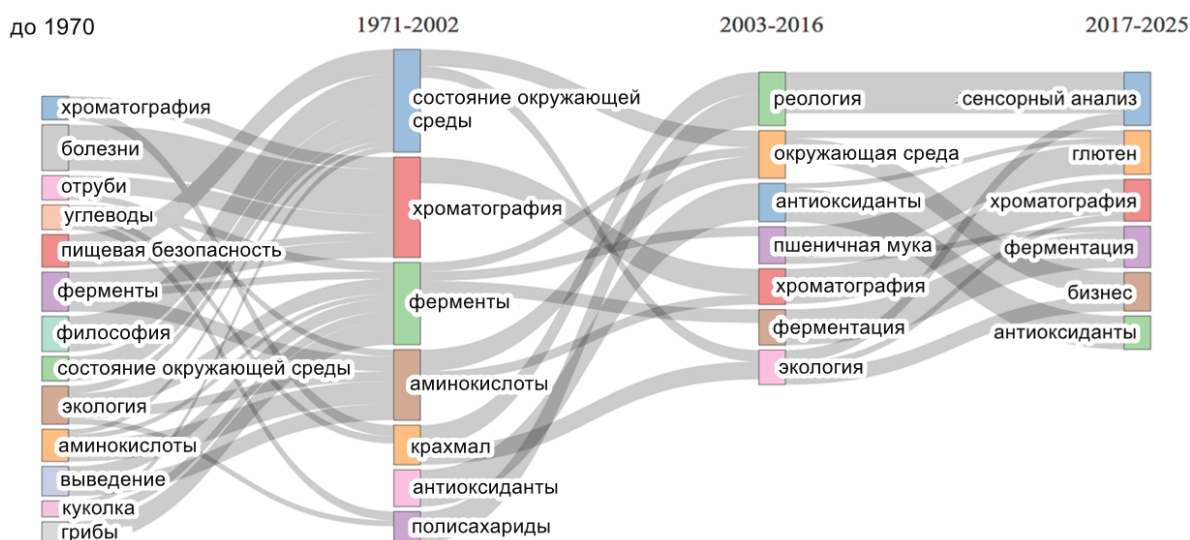


Рис. 6. Тематическая эволюция ключевых слов
Fig. 6. Thematic evolution of keywords

В период до 1970 г. эволюционная карта охватывает несколько ключевых направлений исследований. В это время началось активное изучение химического состава бобовой муки. Тематика, включающая термины "ферменты" и "ферментативная активность", связана с активным изучением ингибиторов Баумана – Бирка, Куница, альфа-глюкозидазы, оказывающих отрицательное влияние на процессы пищеварения. Поэтому технологические процессы должны были предусматривать способы инактивации антипитательных факторов. В этот подпериод начались размышления о роли бобовых в экосистемах и их потенциале для устойчивого производства пищи. Исследования также касались влияния бобовой муки в профилактике заболеваний (диабета и сердечно-сосудистых заболеваний).

Второй период, охватывающий интервал с 1971 по 2002 гг., отражает значительные изменения и достижения в различных областях исследования и применения муки. Появляется тематика, раскрывающая потенциал зернобобовых культур как источников пищевых волокон с широким спектром действия и биологически активных веществ (прежде всего антиоксидантов). С точки зрения физических процессов изучение свойств бобовой муки может включать в себя механизмы, которые влияют на текстуру теста в процессе приготовления. Активно изучаются вопросы, связанные с использованием муки в качестве закваски. Происходящие при этом процессы ферментации способствуют улучшению функциональных свойств муки, ее питательных качеств, а также вкуса и аромата готовых изделий (*İbanoğlu et al., 2001*). Важным инструментом для детального исследования питательных веществ и антиоксидантов бобовых становится хроматография. Наблюдается возрастание интереса к экологическим аспектам производства и потребления.

В 2003–2016 гг. продолжает расти интерес к замене муки пшеничной мукой из зернобобовых в рецептурах различных изделий, что особенно актуально в период появившихся тенденций потребления безглютеновой продукции. В отдельную область выделяется изучение реологических свойств теста и готовых изделий; продолжается активное использование хроматографических методов.

В 2017–2025 гг. большое значение уделяется сенсорному анализу, который важен как элемент качества при производстве новых продуктов с использованием бобовой муки. Одним из возможных способов улучшения сенсорного профиля становится ферментация: при молочнокислом брожении уменьшается содержание альдегидов, кетонов, спиртов и синтезируются эфирные соединения. Качественные характеристики важны также для различных продуктов переработки, получаемых методами сухого или влажного фракционирования, в частности белковых препаратов, широко применяемых в различных продуктах питания (*El Youssef et al., 2020*). В этот период возрастает количество исследований, в которых отражается роль бобовых не только для здоровья человека, но и для здоровья планеты.

Эволюционный процесс тематик исследования оценивается с помощью тематических карт, которые создаются пакетом R-Bibliometrix с помощью кластерного анализа. Тематические карты являются одними из программных продуктов, помогающих исследователям анализировать результаты (*Cobo et al., 2011*).

С помощью тематической карты можно больше узнать о текущем состоянии предмета исследований и его шансах на долгосрочное существование. Каждый круг на карте представляет собой кластер, причем более крупные круги указывают на более высокую частоту появления ключевых слов в кластерах.

Расположение кластера на карте формируется по определенным характеристикам связей ключевых и сопутствующих слов (плотность и центральность) в четырех областях. Нишевые (*niche*) темы находятся в левом верхнем квадранте, премиум (*motor*) – в правом верхнем, возникающие/угасающие (*emerging/declining*) – в левом нижнем, базовые (*basic*) темы – в правом нижнем квадранте.

Расположение тем по квадрантам основано на показателях плотности [мере развития темы, степени связности между узлами (ключевыми словами) внутри кластеров] и центральности (мере релевантности темы, взаимосвязи с различными темами в кластере):

- нишевые (высокоразвитые и изолированные) темы имеют хорошо развитые внутренние связи (высокая плотность), но незначительные внешние (низкая центральность), что означает, что они касаются зарождающихся областей знания или являются развитыми, но ограниченными темами для данной области исследований;
- премиум-темы (моторные) характеризуются высокой центральностью и высокой плотностью, т. е. они развиты и жизненно важны для области исследований;
- базовые (основные) и трансверсальные темы характеризуются высокой центральностью и низкой плотностью, что означает, что они важны и все еще развиваются в области исследования, а также касаются общих тем, связанных с различными областями исследований;
- возникающие/убывающие темы характеризуются низкими центральностью и плотностью, т. е. являются слаборазвитыми в данный момент.

Близость к вертикальной оси указывает на более высокую плотность, т. е. показывает, насколько интенсивно и глубоко развита данная область исследований. Чем выше плотность, тем больше научных публикаций касается рассматриваемой тематики, что свидетельствует о ее стабильности и потенциале для дальнейшего развития.

Горизонтальная ось отражает центральность узла, т. е. его важность и влияние в структуре всей исследовательской сети. Чем ближе узел к горизонтальной оси, тем больше связей он имеет с другими темами и тем самым занимает ключевое место в научной области. Узел с высокой центральностью обычно является важным звеном, вокруг которого строятся другие исследования, что свидетельствует о востребованности в научном сообществе и потенциале для дальнейшего роста.

Эволюция тематик исследований муки из зернобобовых в различные периоды показана на рис. 7.

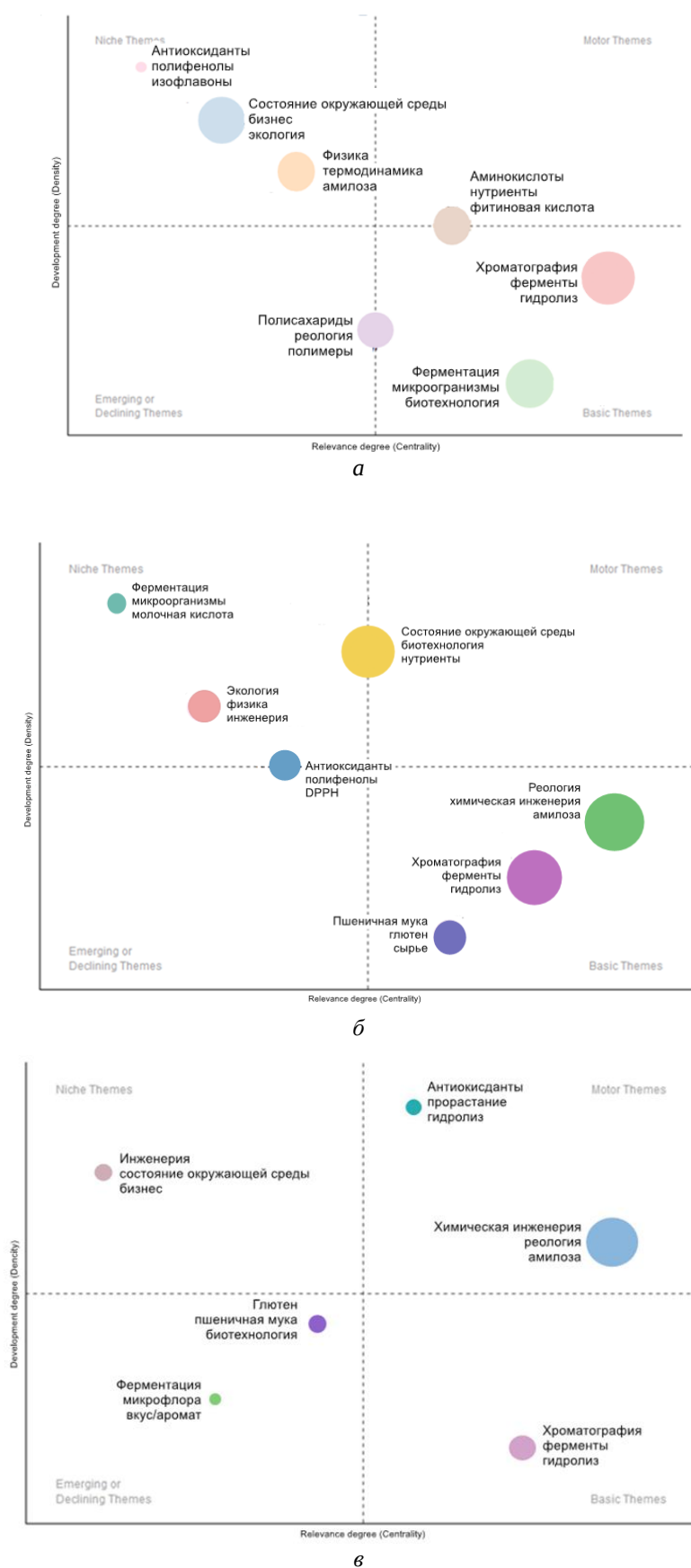


Рис. 7. Эволюционная карта тематик исследований: а – 1970–2002 гг.; б – 2003–2017 гг.; в – 2018–2025 гг.
Fig. 7. The evolutionary map of research topics: а – 1970–2002; б – 2003–2017; в – 2018–2025

По тематическим картам можно оценить развитие ряда основных тематик. Тематика, связанная с антиоксидантной активностью, в начальный период находилась среди нишевых тем, затем перемещалась к границе центральности и ее можно было охарактеризовать как растущую, а в период с 2017 г. перешла в разряд премиум.

Тематика, связанная с реологическими свойствами муки, в течение двух периодов оставалась в нижних квадрантах, но позже из базовой тематики переместилась в премиум. Этот факт можно объяснить возросшим интересом к безглютеновой продукции и продуктам с лучшим нутриентным составом за счет добавления муки из бобовых и, соответственно, ростом исследований, связанных с текстурными свойствами теста и готовых изделий.

Помимо уникального химического состава, к преимуществам зернобобовых относится также их значительное влияние на экологическое здоровье планеты. Производство зернобобовых способствует сохранению экологии, отличается низким углеродным следом и коротким циклом роста культур. Симбиотическая фиксация азота при выращивании позволяет снизить потребность в удобрениях, что делает процесс более экологически чистым. В результате, как показано на тематических картах, на начальных этапах исследований этот вопрос из нишевых тем переместился в категорию премиум с более высокой плотностью. В последние годы данная тематика вновь оказывается в левом верхнем квадранте, однако с учетом ее важности для устойчивого развития планеты можно утверждать, что она из обособленной области перешла в разряд высокоразвитых тем.

Рассматривая современное состояние исследований (2018–2025 гг.), стоит обратить внимание на нижний левый квадрант, где находятся темы, связанные с процессами ферментации и микрофлорой. Поскольку пакет R-Bibliometrix не определяет, к какой группе (растущих или убывающих) тематик относятся эти ключевые слова, анализ тенденций данного направления проводится на основе содержательной части научных публикаций.

Следует отметить, что процессы ферментации муки при приготовлении заквасок использовались давно, и можно было предположить, что данная тематика достаточно хорошо изучена. Но в настоящее время ферментацию рассматривают как потенциальную возможность улучшения питательных, технологических и сенсорных свойств муки из бобовых культур, учитывая, что данный процесс снижает содержание антипитательных факторов и повышает пищевую ценность и усвояемость. Уникальные протеолитические системы различных молочнокислых бактерий, образующиеся при брожении, вызывают специфический ферментативный гидролиз белков бобовых, что приводит к получению гидролизатов с разными свойствами (растворимость, эмульгирующая способность, гелеобразование и пенообразующая способность) (*Garrido-Galand et al., 2021; Munch-Andersen et al., 2024; Chiacchio et al., 2025; Du et al., 2024; Parmigiani et al., 2025; Šaula et al., 2025; Singh et al., 2024; Liang et al., 2022*). Рыночные тенденции также указывают на растущий интерес к функциональным продуктам питания. В этом контексте ферментированные продукты показывают значительные изменения в своем составе: увеличение содержания аминокислот, витаминов, биоактивных соединений; уменьшение антипитательных факторов (фитатов и танинов) (*Garrido-Galand et al., 2021*). Учитывая значительное количество публикаций в данный период и актуальность направления исследований, тематику, касающуюся процессов ферментации, следует определить как растущую.

Тематика, рассматривающая процессы гидролиза, тесно связана с ферментативными процессами и занимает место в квадранте базовых тем.

Заключение

В результате исследований впервые представлены библиометрический анализ научной литературы и визуализация тенденций исследований, посвященных изучению муки из семян зернобобовых культур. Экспоненциальный рост публикационной активности наблюдался с 2017 г., что связано с объявлением Ассамблеей ООН 2016 года Международным годом зернобобовых и дальнейшим ростом сотрудничества между странами.

Наибольший вклад в развитие исследований в данной области внесли ученые из Китая, США, Индии. Значительная доля работ приходилась на химические и биологические науки, науку о пище, что выявлено с помощью наиболее значимых ключевых слов: хроматография, крахмал, ферменты, полисахариды, антиоксиданты. Концептуальные кластеры на структурной карте ключевых слов включают основные и сопутствующие термины, отражающие эволюцию научной литературы по рассматриваемой тематике.

В течение периода исследований оставались значимыми тематические узлы, связанные с терминами "ферменты" и "ферментация"; в настоящее время сформировались новые узлы, касающиеся изучения антиоксидантной активности, а также роли безглютеновой продукции и сенсорных характеристик. Тематические карты позволили проследить центральные и убывающие темы научных исследований, посвященных различным процессам, среди которых ферментация играет ключевую роль.

Полученные результаты библиометрического анализа могут быть использованы отечественными учеными для оценки и планирования исследовательских работ в области изучения муки из зернобобовых в контексте мировых тенденций.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

References

- Akın, M., Eydurán, S. P., Papageorgiou, M., Bartkiene, E. et al. 2023. Bibliometric analysis on pseudocereals. *Cleaner and Circular Bioeconomy*, 6. Article number: 100062. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.clcb.2023.100062>.
- Anumudu, C. K., Omeregbe, O., Hart, A., Miri, T. et al. 2022. Applications of bacteriocins of lactic acid bacteria in biotechnology and food preservation: A bibliometric review. *The Open Microbiology Journal*, 16. Article number: e187428582206300. DOI: <https://doi.org/10.2174/18742858-v16-e2206300>.
- Aria, M., Cuccurullo, C. 2017. Bibliometrix : An R-tool for comprehensive science mapping analysis. *Journal of Informetrics*, 11(4), pp. 959–975. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.joi.2017.08.007>.
- Biazatti, M. J., Justi, A. C. A., Fraga Souza, R., de Carvalho Miranda, J. C. 2024. Soybean biorefinery and technological forecasts based on a bibliometric analysis and network mapping. DOI: <https://doi.org/10.2139/ssrn.4719032>.
- Chiacchio, M. F., Tagliamonte, S., Pazzanese, A., Vitaglione, P. et al. 2025. Lactic acid fermentation improves nutritional and functional properties of chickpea flours. *Food Research International*, 203. Article number: 115899. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2025.115899>.
- Cobo, M. J., López-Herrera, A. G., Herrera-Viedma, E., Herrera, F. 2011. An approach for detecting, quantifying, and visualizing the evolution of a research field: A practical application to the Fuzzy Sets Theory field. *Journal of Informetrics*, 5(1), pp. 146–166. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.joi.2010.10.002>.
- Costa, B. P., Ikeda, M., de Melo, A. M., Bambirra Alves, F. E. S. et al. 2022. *Eriobotrya japonica* fruits and its by-products: A promising fruit with bioactive profile and trends in the food application – A bibliometric review. *Food Bioscience*, 50, Part B. Article number: 102099. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.fbio.2022.102099>.
- Silva da, K. G., de Lima Costa, I. H., Fonseca, L. M., Saraiva, M. M. T. et al. 2025. Food biopreservation, global trends and applications: A bibliometric approach. *Food Control*, 168. Article number: 110901. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2024.110901>.
- Souza de, H. F., Monteiro, G. F., Bogáz, L. T., Freire, E. N. S. et al. 2024. Bibliometric analysis of water kefir and milk kefir in probiotic foods from 2013 to 2022: A critical review of recent applications and prospects. *Food Research International*, 175. Article number: 113716. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2023.113716>.
- Du, Q., Li, H., Tu, M., Wu, Z. et al. 2024. Legume protein fermented by lactic acid bacteria: Specific enzymatic hydrolysis, protein composition, structure, and functional properties. *Colloids and Surfaces B: Biointerfaces*, 238. Article number: 113929. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.colsurfb.2024.113929>.
- El Youssef, C., Bonnarme, P., Fraud, S., Péron, A.-C. et al. 2020. Sensory improvement of a pea protein-based product using microbial co-cultures of lactic acid bacteria and yeasts. *Foods*, 9(3). Article number: 349. DOI: <https://doi.org/10.3390/foods9030349>.
- Fernandes, R., Souza, F. O., Sobral, D. O., dos Santos, T. L. O. et al. 2024. Conilon coffee: A critical review and bibliometric analysis for the agri-food industry. *Food Research International*, 197, Part 2. Article number: 115284. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2024.115284>.
- Fernando, D., Marbun, P., Hastuti, A. A. M. B., Rohman, A. 2025. Current trends and future directions in avocado oil research: An overview and a bibliometric analysis across two time points. *Oil Crop Science*, 10(1), pp. 25–43. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ocsci.2025.02.003>.
- Fernando, S. 2021. Production of protein-rich pulse ingredients through dry fractionation: A review. *LWT*, 141. Article number: 110961. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2021.110961>.
- Fukah, F. K., Magubika, A. J., Tryphone, G. M., Nassary, E. K. 2024. Meta-analysis of legumes and groundnut production trends and variability in the Global South. *Journal of Agriculture and Food Research*, 18. Article number: 101501. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jafr.2024.101501>.
- Garrido-Galand, S., Asensio-Grau, A., Calvo-Lerma, J., Heredia, A. et al. 2021. The potential of fermentation on nutritional and technological improvement of cereal and legume flours: A review. *Food Research International*, 145. Article number: 110398. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2021.110398>.
- İbanoğlu, Ş., İbanoğlu, E. 2001. Modelling of natural fermentation in cowpeas using response surface methodology. *Journal of Food Engineering*, 48(3), pp. 277–281. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0260-8774\(00\)00171-0](https://doi.org/10.1016/S0260-8774(00)00171-0).
- Liang, Z., Yi, M., Sun, J., Zhang, T. et al. 2022. Physicochemical properties and volatile profile of mung bean flour fermented by *Lactocaseibacillus casei* and *Lactococcus lactis*. *LWT*, 163. Article number: 113565. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2022.113565>.
- Liu, T., Zhen, X., Lei, H., Li, J. et al. 2024. Investigating the physicochemical characteristics and importance of insoluble dietary fiber extracted from legumes: An in-depth study on its biological functions. *Food Chemistry: X*, 22. Article number: 101424. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.fochx.2024.101424>.

- Lysova, N., Solari, F., Montanari, R. 2025. Investigating research trends in computer vision for food quality control: A bibliometric approach. *Procedia Computer Science*, 253, pp. 1923–1932. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.procs.2025.01.254>.
- Magallanes López, A. M., Campanella, O. H., Simsek, S. 2024. Effects of cooking and market classes on nutritional and antioxidant properties of dry bean flours and soluble dietary fiber-rich fractions. *Bioactive Carbohydrates and Dietary Fibre*, 32. Article number: 100454. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.bcdf.2024.100454>.
- Maspeke, P. N. S., Salengke, S., Muhidong, J., Dirpan, A. 2024. A bibliometric analysis of ohmic heating on food processing in the last two decades. *Heliyon*, 10(20). Article number: e39315. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e39315>.
- Melo de, A. M., Almeida, F. L. C., Melo de Cavalcante, A. M., Ikeda, M. et al. 2021. Garcinia brasiliensis fruits and its by-products: Antioxidant activity, health effects and future food industry trends – A bibliometric review. *Trends in Food Science & Technology*, 112, pp. 325–335. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2021.04.005>.
- Mishra, N., Tripathi, S., Smriti, Mishra, N. 2024. Global insights into *Physalis* research: A bibliometric journey from origin to recent advances. *Food and Humanity*, 3. Article number: 100395. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foohum.2024.100395>.
- Molchanova, E. N., Shipareva, M. G. 2023. Analysis of motivational models in the world for increasing legume consumption. *Voprosy Pitaniya*, 92(S5(549)), pp. 270–271. DOI: 10.33029/0042-8833-2023-92-5s-338. EDN: BOTXUV. (In Russ.) = Молчанова Е. Н., Шипарева М. Г. Анализ мотивационных моделей в мире для увеличения потребления зернобобовых // Вопросы питания. 2023. Т. 92, № S5(549). С. 270–271. DOI: 10.33029/0042-8833-2023-92-5s-338. EDN: BOTXUV.
- Molchanova, E. N., Shipareva, M. G., Li, E. V., Karelina, N. N. 2018. Innovations in the use of grain legumes. *Voprosy Pitaniya*, 87(S5), pp. 230–231. DOI: 10.24411/0042-8833-2018-10340. EDN: VNGBUI. (In Russ.) = Молчанова Е. Н., Шипарева М. Г., Ли Е. В., Карелина Н. Н. Инновации в применении зернобобовых // Вопросы питания. 2018. Т. 87, № S5. С. 230–231. DOI: 10.24411/0042-8833-2018-10340. EDN: VNGBUI.
- Montemurro, M., Perri, G., Verni, M., Pontonio, E. et al. 2025. Application of a sourdough type-II fermentation model to gelatinized legume flours: starter robustness, technological and nutritional implications, potential of the bread and pasta fortification. *Applied Food Research*, 5(1). Article number: 100725. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.afres.2025.100725>.
- Moral-Muñoz, J. A., Herrera-Viedma, E., Santisteban-Espejo, A., Cobo, M. J. 2020. Software tools for conducting bibliometric analysis in science: An up-to-date review. *El Profesional de La Información*, 29(1). Article number: e290103. DOI: <https://doi.org/10.3145/epi.2020.ene.03>.
- Munch-Andersen, C. B., Porcellato, D., Devold, T. G., Østlie, H. M. 2024. Isolation, identification, and stability of sourdough microbiota from spontaneously fermented Norwegian legumes. *International Journal of Food Microbiology*, 410. Article number: 110505. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2023.110505>.
- Obadi, M., Xu, B. 2024. A review of the effects of physical processing techniques on the characteristics of legume starches and their application in low-glycemic index foods. *International Journal of Biological Macromolecules*, 279, Part 1. Article number: 135124. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2024.135124>.
- Ochoa-Ocampo, M. A., Niño-Ruiz, Z., Torres-Gutiérrez, R., Mogollón, N. G. S. et al. 2025. Characterization, biological activity and application trends of *Ilex guayusa* Loes: A systematic literature review and bibliometric analysis. *Food Chemistry Advances*, 7. Article number: 100958. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.focha.2025.100958>.
- Olaoye, S. A., Oladele, S. O., Badmus, T. A., Filani, I. et al. 2024. Thermal and non-thermal pasturization of citrus fruits: A bibliometrics analysis. *Heliyon*, 10(10). Article number: e30905. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e30905>.
- Pacheco, A. F. C., Pacheco, F. C., Cunha, J. S., dos Santos, F. R. et al. 2024. Bibliometric analysis of pumpkin seed proteins: A review of the multifunctional properties of their hydrolysates and future perspectives. *Food Bioscience*, 59. Article number: 104269. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.fbio.2024.104269>.
- Parmigiani, M., López, D. N., Llopart, E. E., Boeris, V. 2025. Sensory evaluation of wheat bread supplemented with chickpea: The effect of the chickpea flour fermentation. *Food and Humanity*, 4. Article number: 100527. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foohum.2025.100527>.
- Petrescu-Mag, R. M., Petrescu-Mag, I. V., Petrescu, D. C., Ginsca, C. et al. 2025. Mapping the research landscape of meat replacers in Romania: A bibliometric analysis and a cross-cluster synergy model of emerging trends. *Future Foods*, 11. Article number: 100619. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.fufo.2025.100619>.
- Ribeiro, N. G., Xavier-Santos, D., Campelo, P. H., Guimarães, J. T. et al. 2022. Dairy foods and novel thermal and non-thermal processing: A bibliometric analysis. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 76. Article number: 102934. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2022.102934>.
- Šaula, T., Cigić, B., Jamnik, P., Cigić, I. K. et al. 2025. Enrichment of the nutritional value of pea flour milling fractions through fermentation. *Food Chemistry*, 476. Article number: 143303. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2025.143303>.

- Schouten, M. A., Fryganas, C., Tappi, S., Romani, S. et al. 2023. Influence of lupin and chickpea flours on acrylamide formation and quality characteristics of biscuits. *Food Chemistry*, 402. Article number: 134221. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2022.134221>.
- Sendhil, R., Bhuvana, C. R., Yadav, S., Gayathry, G. et al. 2024. Consumer perception and preference toward plant-based meat alternatives – Bibliometric trends and policy implications. *Food and Humanity*, 2. Article number: 100229. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foohum.2024.100229>.
- Sganzerla, W. G., da Silva, A. P. G. 2022. Uvaia (*Eugenia pyriformis* Cambess – Myrtaceae): An overview from the origin to recent developments in the food industry – A bibliometric analysis. *Journal of Agriculture and Food Research*, 10. Article number: 100369. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jafr.2022.100369>.
- Sharma, M., Sharma, M., Sahu, S. C., Sharma, D. et al. 2024. Walnuts as functional food and nutraceutical: A bibliometric study of research trends on nutritional potential, phytochemistry and its health benefits. *Food and Humanity*, 3. Article number: 100387. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foohum.2024.100387>.
- Shi, Z., Liu, Y., Hu, Z., Liu, L. et al. 2022. Effect of radiation processing on phenolic antioxidants in cereal and legume seeds: A review. *Food Chemistry*, 396. Article number: 133661. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2022.133661>.
- Silva, R., Rocha, R. S., Ramos, G. L. P. A., Xavier-Santos, D. et al. 2022. What are the challenges for ohmic heating in the food industry? Insights of a bibliometric analysis. *Food Research International*, 157. Article number: 111272. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2022.111272>.
- Singh, D., Chand, K., Sahal, A., Kumar, S. et al. 2024. Optimization of fermentation parameters and their impact on the final properties of the cereal-legume-based fermented product. *Journal of Stored Products Research*, 106. Article number: 102302. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jspr.2024.102302>.
- Stopar, K., Trdan, S., Bartol, T., Arthur, F. H. et al. 2022. Research on stored products: A bibliometric analysis of the leading journal of the field for the years 1965–2020. *Journal of Stored Products Research*, 98. Article number: 101980. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jspr.2022.101980>.
- Szomszor, M., Adams, J., Fry, R., Gebert, C. et al. 2021. Interpreting bibliometric data. *Frontiers in Research Metrics and Analytics*, 5. DOI: <https://doi.org/10.3389/frma.2020.628703>.
- Eck van, N. J., Waltman, L. 2009. Software survey: VOSviewer, a computer program for bibliometric mapping. *Scientometrics*, 84(2), pp. 523–538. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11192-009-0146-3>.
- Vurro, F., Santamaria, M., Summo, C., Pasqualone, A. et al. 2024. Exploring the functional potential of pea-based sourdough in traditional durum wheat *focaccia*: Role in enhancing bioactive compounds, *in vitro* antioxidant activity, *in vitro* digestibility and aroma. *Journal of Functional Foods*, 123. Article number: 106607. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jff.2024.106607>.

Сведения об авторах

Молчанова Елена Николаевна – Волоколамское шоссе, 11, г. Москва, Россия, 125080;
Российский биотехнологический университет (РОСБИОТЕХ), канд. биол. наук, доцент, профессор;
e-mail: molchanova@mgupp.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0708-1694>

Elena N. Molchanova – 11 Volokolamsk Highway, Moscow, Russia, 125080;
Russian Biotechnological University (ROSBIOTECH), Cand. Sci. (Biology), Associate Professor, Professor;
e-mail: molchanova@mgupp.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0708-1694>

Яблочкин Даниил Евгеньевич – Волоколамское шоссе, 11, г. Москва, Россия, 125080;
Российский биотехнологический университет (РОСБИОТЕХ), магистрант;
e-mail: daka2002@rambler.ru, ORCID: <https://orcid.org/0009-0009-2773-0250>

Daniil E. Yablochkin – 11 Volokolamsk Highway, Moscow, Russia, 125080;
Russian Biotechnological University (ROSBIOTECH), Master's Student;
e-mail: daka2002@rambler.ru, ORCID: <https://orcid.org/0009-0009-2773-0250>

Гегер Алексей Эдуардович – Средний проспект В.О., 57/43, г. Санкт-Петербург, Россия, 199178;
Северо-Западный институт управления РАНХиГС, канд. соц. наук, доцент,
e-mail: geger.al@yandex.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8717-565X>

Alexey E. Geger – 57/43 Sredny Prospect V.O., St. Petersburg, Russia, 199178;
North-West Institute of Management RANEPa, Cand. Sci. (Sociology), Associate Professor,
e-mail: geger.al@yandex.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8717-565X>

УДК 635.82

Изменение качественных характеристик культивируемых шампиньонов при хранении

Н. А. Попова

Донецкий национальный университет экономики и торговли им. М. Туган-Барановского,
г. Донецк, Россия;

e-mail: hiora75@mail.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0469-0956>

Информация о статье Реферат

Поступила
в редакцию
01.04.2025;

получена
после доработки
27.05.2025;

принята
к публикации
09.07.2025

Ключевые слова:

шампиньоны,
активность ферментов,
аскорбиновая кислота,
свободный тирозин,
внутриканальное
содержание воздуха

Для цитирования

В условиях дефицита высококачественных белков, особенно в развивающихся странах, одним из путей решения продовольственной проблемы является культивирование грибов, в частности шампиньонов. Грибы содержат легкоусвояемый белок и биологически активные вещества, также отличаются экологической чистотой и устойчивостью к заболеваниям. В статье рассматривается динамика изменения биохимических показателей шампиньонов с разноокрашенной поверхностью шляпок (белой и коричневой) в процессе хранения. Целью работы является исследование активности оксидаз и их взаимосвязи с содержанием свободного тирозина и аскорбиновой кислоты в зависимости от цвета поверхности шляпок шампиньонов, в том числе при хранении. Установлено, что одной из критических проблем сохранности грибной продукции является активность ферментов – дифенолоксидазы и аскорбинатоксидазы. Определено, что шампиньоны с белой окраской поверхности шляпок имеют более рыхлую структуру ткани и, как следствие, более высокое содержание в ней воздуха (до 43 %), что обуславливает большую скорость окислительных процессов. Это приводит к более интенсивному их потемнению и ухудшению органолептических свойств грибов. В процессе хранения шампиньонов активность ферментов возрастает, содержание аскорбиновой кислоты снижается, а свободного тирозина – увеличивается. В грибах указанные процессы аналогичны при всех взятых температурных режимах, но различаются по скорости. При этом шампиньоны с белой окраской поверхности шляпок имеют более высокую ферментативную активность и лучше сохраняют витамин С за счет возможного высвобождения связанной его формы. Результаты исследования акцентируют внимание на необходимости изучения в процессе хранения шампиньонов как химического состава, так и органолептических показателей для определения оптимальных сроков и условий хранения.

Попова Н. А. Изменение качественных характеристик культивируемых шампиньонов при хранении. Вестник МГТУ. 2025. Т. 28, № 3. С. 429–438. DOI: <https://doi.org/10.21443/1560-9278-2025-28-3-429-438>.

Change in the qualitative characteristics of cultured champignons during storage

Natalia A. Popova

Donetsk National University of Economics and Trade named after Mikhail Tugan-Baranovsky, Donetsk, Russia;
e-mail: hiora75@mail.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0469-0956>

Article info

Received
01.04.2025;

received
in revised form
27.05.2025;

accepted
09.07.2025

Key words:

champignons,
enzyme activity,
ascorbic acid,
free tyrosine,
interstitial air content

Abstract

In the conditions of deficiency of high-quality proteins, especially in developing countries, one of the ways to solve the food problem is cultivation of mushrooms, in particular champignons. Mushrooms contain easily digestible protein and biologically active substances, and are also environmentally friendly and resistant to diseases. The paper considers the dynamics of changes in biochemical parameters of champignons with differently colored surface of champignon caps (white and brown) during storage. The aim of the work is to study the activity of oxidases and their relationship with the content of free tyrosine and ascorbic acid depending on the color of the surface of champignons, including during storage. It has been established that one of the critical problems of the shelf life of mushroom products is the activity of enzymes – diphenol oxidase and ascorbate oxidase. It has been determined that champignons with white cap surface have a looser tissue structure and, as a result, a higher air content in it (up to 43 %), which causes a higher rate of oxidation processes. This leads to more intense darkening and deterioration of the organoleptic properties of mushrooms. During storage of champignons, enzyme activity increases, the content of ascorbic acid decreases, and free tyrosine increases. In mushrooms, these processes are similar at all temperature conditions, but differ in speed. At the same time, champignons with white caps have higher enzymatic activity and better retain vitamin C due to the possible release of its bound form. The results of the study emphasize the need to study both the chemical composition and organoleptic indicators during storage of champignons to determine the optimal storage periods and conditions.

For citation

Popova, N. A. 2025. Change in the qualitative characteristics of cultured champignons during storage. *Vestnik of MSTU*, 28(3), pp. 429–438. (In Russ.) DOI: <https://doi.org/10.21443/1560-9278-2025-28-3-429-438>.

Введение

Обеспечение населения высококачественными экологически чистыми белоксодержащими продуктами питания является актуальным, поскольку белковый дефицит – проблема питания человечества¹. Дефицит белка в мире оценивается в среднем в 15 млн т (Дятлов и др., 2008а). Преобладающая часть дефицита приходится на развивающиеся страны. Поиски альтернативных безвредных белоксодержащих растительных продуктов питания, в том числе высокобелковых компонентов, чрезвычайно насущны (Рождественская и др., 2024). Этим исследованиям посвящены труды как ученых, так и пробы их практического решения во многих странах мира, в том числе и в России. Одним из путей решения этого вопроса является использование культивируемых грибов. Так, с одного гектара можно получить 110 т грибов, а это 330 кг белка. Международные организации в сфере питания и здравоохранения рассматривают вопрос о культивации грибов, в частности, использовании отдельных их компонентов для борьбы с недоеданием и белковым голоданием в развивающихся странах (Салимов, 2024).

В нашей стране культивирование грибов развито, однако проблема обеспечения экологически чистой белоксодержащей безвредной растительной продукцией стоит достаточно остро, в том числе и из-за введения антироссийских санкций. Проблема признана на государственном уровне и решается в рамках государственной целевой научно-производственной программы по развитию российского грибоводства. В 2024 г. объемы производства культивируемых грибов в России уменьшились на 4 % по сравнению с 2023 г., составив 140,9 тыс. т (Хренов, 2025). Основной причиной спада стало закрытие одного из крупнейших предприятий отрасли – комплекса "Богородские овощи". В 2023 г. производство грибов в России возросло на 13,3 % по сравнению с 2022 г., достигнув исторического минимума – 145,9 тыс. т, при этом 96 % всех культивируемых грибов – это шампиньоны, а оставшиеся – преимущественно вешенка. Также культивируются менее распространенные грибы, такие как эринги, шиитаке, шимеджи и разные виды опят. Спрос на эти виды грибов в значительной степени удовлетворяется за счет импорта из Китая.

В 2023 г. количество произведенных грибов в России составило более 1 кг на человека, что в значительной мере превышает показатели предыдущих лет. В разных странах Европы и США потребление шампиньонов колеблется от 1,5 до 2 кг на человека.

Одними из сдерживающих фактором развития производства грибов в России является ограниченное количество их видов для культивирования, очень короткий срок их хранения и отсутствие развитой базы переработки. При этом основная масса культивируемых грибов приходится на шампиньоны белой расы, которые реализуются в основном в свежем виде.

Грибы характеризуются высокой пищевой ценностью, связанной с их химическим составом (Николаева и др., 2021). Короткий срок хранения свежих грибов приводит к быстрому снижению их качества и пищевой ценности (Дятлов и др., 2008б). Поэтому температурный режим хранения должен быть оптимальным (Медведкова и др., 2023). Преимущественно используются низкотемпературные режимы, тормозящие биологические процессы (Медведкова и др., 2024). Эффект хранения при низкотемпературном режиме подтвержден для многих видов растительной продукции. Используются и другие способы влияния низких температур на сохраняемость, например замораживание (Лифенцева и др., 2023). Экспериментально ведутся исследования влияния на сохраняемость шампиньонов внешнего воздействия УФ-облучения (Кондратенко, 2022). Известны разработки по использованию и нескольких условий хранения, например в радиационно-холодильной технологии, позволяющей продлить сроки хранения шампиньонов (Шишкина и др., 2020).

В процессе хранения в свежей продукции, в том числе в шампиньонах, могут появляться различные дефекты. К наиболее распространенным дефектам относится появление на кожице грибов нажимов (вмятин) как вследствие неаккуратного обращения при их сборе, укладке в тару, так и при транспортировке. В результате этого в местах нажимов верхние слои кожицы и прилегающие к ней клетки разрушаются. Свободная аминокислота тирозин, высвобождаемая под действием кислорода, окисляется с образованием темноокрашенных веществ. Они безопасны для человека, но снижают органолептические показатели качества грибов и приводят к снижению товарного сорта, что особенно ярко проявляется у шампиньонов белой расы и в меньшей степени в коричневых штаммах (Дятлов и др., 2011). Белые шампиньоны предпочтительны как для производителей из-за большей урожайности, так и для потребителей – из-за более привлекательного внешнего вида. Вместе с тем шампиньоны коричневой расы содержат больше питательных и биологически активных веществ, при производстве меньше поражаются различными заболеваниями и лучше сохраняют показатели качества.

Качество и сохраняемость свежих плодов, овощей и грибов во многом определяется интенсивностью дыхания и активностью ферментов. При этом для шампиньонов скорость снижения органолептических

¹ Руководство по глобальному мониторингу здорового питания, 2024. 52 с. URL: <https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/3.0/igo/deed.ru>.

показателей качества зависит, прежде всего, от расы (цвета кожицы) и штамма. Указанные различия обусловлены следующими факторами: условиями выращивания, плотностью кожицы и внутренних тканей грибов у всех рас и штаммов. Последнее определяет рыхлость тканей и, соответственно, высокую степень аэрации грибов кислородом. При этом кислород стимулирует скорость протекания отдельных ферментативных реакций, в частности оксидаз.

Каждый из обнаруженных ферментов играет определенную роль в формировании и сохранности потребительской ценности шампиньонов. Так, под действием амилазы гликоген грибов гидролизуются до глюкозы, которая используется для дыхания. Под действием протеиназы осуществляется синтез белка. Несмотря на то что протеиназа содержится в шампиньонах, она проявляет слабую активность. Фосфатаза вовлекает в обменные процессы неорганический фосфор. Одним из самых часто исследуемых ферментов является аскорбинатоксидаза, под действием которой происходит гидролиз аскорбиновой кислоты (Иванова, 2024). Трансферазы, а именно аспартат- и аланин-, участвуют в обмене белков и утилизируют свободный аммиак до мочевины или амидов. Лактаза принимает участие в утилизации молочной кислоты. По данным исследователей, лактаза либо отсутствует в грибах, либо содержится в минимальных количествах.

Следовательно, грибы, в том числе и шампиньоны, содержат многие ферменты, которые характерны не только для растительного, но и для животного организма. Так, из сыроежки сереющей выделен фермент руссулин, обладающий свойствами сычужного фермента ренина, получаемого из желудка телят. Этот фермент незаменим в производстве сыров, поскольку способствует коагуляции белков молока и образованию сырного зерна. Особенностью грибов является не только многообразие ферментов, но и их повышенная активность, в результате чего полисахариды превращаются в нужные для грибов вещества, что является закономерным и необходимым условием для их развития.

В "дышащем" организме каждое соединение, как правило, вовлекается в обмен не одним, а несколькими путями. Этим объясняется большая гибкость и динамичность обменных процессов в продукции, быстро реагирующей на изменение условий существования (Дятлов, 2004). Преобладание какого-либо пути зависит от видовой специфики растения, его физиологического состояния и условий внешней среды. Многообразие ферментативных реакций, одновременно протекающих в живой клетке, находит отражение в изменении интенсивности дыхания и активности ферментов. Признавая результаты предыдущих исследований, следует отметить необходимость сравнительных исследований изменений качественных характеристик культивируемых шампиньонов коричневой и белой расы в процессе хранения, и прежде всего активности ферментов, аскорбиновой кислоты, свободного тирозина, внутритканевого содержания воздуха как взаимосвязанных процессов (Медведкова и др., 2015).

Материалы и методы

Цель работы – исследование активности оксидаз и их взаимосвязи с содержанием свободного тирозина и аскорбиновой кислоты в зависимости от цвета поверхности шляпок шампиньонов, в том числе при хранении.

В качестве предмета исследований были взяты: плодовые тела шампиньонов с закрытой шляпкой штаммов SyIvan 856 (коричневая окраска поверхности шляпки) и A115 (белая окраска). Образцы хранили в нормальных условиях при температуре $2 \pm 2^\circ\text{C}$ и при $20 \pm 2^\circ\text{C}$.

В образцах определяли дифенолоксидазу и аскорбинатоксидазу (Умбрейт и др., 1951); свободный тирозин и аскорбиновую кислоту (по Прокушеву)²; изменение цвета кожицы – органолептически по ГОСТ 34958-2023 "Грибы шампиньоны свежие культивируемые"³; содержание воздуха в плодовых телах грибов – методом глубокого вакуумирования (Макашвили, 1975).

Результаты и обсуждение

Свежие грибы – это коллоидные капиллярно-пористые тела, сложные по своей природе и по дисперсной структуре, с высоким содержанием влаги. Интенсивность газо- и парообмена капиллярно-пористых тел с внешней средой через капиллярно-пористые мембраны играет огромную роль в сохранении качества. Этот массовый обмен и скорость протекания биохимических процессов зависит от многих факторов, к основным относятся степень аэрации тканей кислородом, парциальное давление водяного пара в капиллярах и окружающей внешней среде.

По нашим данным активность дифенолоксидазы в шампиньонах с коричневой окраской поверхности шляпок (на начало хранения) ниже (на 62 %), чем в белых (табл. 1).

² Петров К. М. Методы биохимии растительных продуктов. К. : Вища шк., 1978. 222 с.

³ ГОСТ 34958-2023. Грибы шампиньоны свежие культивируемые. Технические условия : утвержден Межгосударственным советом по стандартизации, метрологии и сертификации от 31 мая 2023 г. № 162-П. М., 2023. 15 с.

Таблица 1. Изменение активности дифенолоксидазы шампиньонов при хранении,
мкл O₂ на 1 г/1 ч (при n = 7)

Table 1. Changes in the diphenol oxidase activity of champignons
during storage mkl O₂ in 1 g/1 h (by n = 7)

Срок хранения, сут	Температура хранения, °C			
	0–4		18–22	
	М	% от предыдущего	М	% от предыдущего
Шампиньоны с коричневой окраской поверхности шляпок				
На начало	545,0	–	545,0	–
1	443	81,3	701	118,2
2	450	101,6	795	118,8
3	482	106,9	972	127,0
4	521	106,2	–	–
5	553	106,3	–	–
6	587	105,0	–	–
НСР ₀₅	13,1	–	37,7	–
Шампиньоны с белой окраской поверхности шляпок				
На начало	882	–	882	–
1	660	74,8	1 202	136,3
2	629	95,3	1 452	120,8
3	675	107,3	1 807	124,4
4	718	106,4	–	–
5	761	106,0	–	–
6	803	105,5	–	–
НСР ₀₅	29,3	–	53,4	–

В процессе хранения при низкой температуре активность фермента через 24 ч снижается на 18–25 %. Это, на наш взгляд, обусловлено понижением температуры грибов и, соответственно, активностью фермента. Вместе с тем указанный процент снижения не соответствует правилу Ван-Гоффа, в соответствии с которым активность протекания ферментативных реакций должна снижаться в 2–3 раза на каждые 10 °C понижения температуры. Это несоответствие, очевидно, обусловлено биологическими особенностями химического состава, роста и развития грибов, в частности высоким содержанием воздуха в тканях, а значит – высокой степенью их аэрации кислородом. По нашим данным, содержание воздуха в тканях грибов у шампиньонов с коричневым цветом эпителия – 25,9 об.%, у шампиньонов с белым цветом эпителия – 43,1 об.%. Возможно, последний факт и является одной из причин различной активности дифенолоксидазы.

При дальнейшем хранении активность фермента постепенно возрастает в обоих штаммах. В целом эти процессы описываются уравнениями общего вида: при высокой температуре $y = ax + c$, а при пониженной $y = ax^2 - bx + c$ с высокими коэффициентами корреляции. Тем не менее на всем протяжении хранения активность дифенолоксидазы выше в грибах с белым цветом эпителия. Возможно, это связано с разным содержанием свободного тирозина. В связи с этим нами исследовано изменение содержания свободного тирозина в грибах – как основного субстрата деятельности дифенолоксидазы (табл. 2).

Анализ приведенных данных показывает, что рост активности дифенолоксидазы сопровождается ростом содержания свободного тирозина (табл. 1 и 2). При этом темпы прироста активности фермента несколько запаздывают в сравнении со свободным тирозином, что, очевидно, связано не только с изменением содержания тирозина (рис. 1). Для определения константы скорости инактивации фермента используется кинетическая модель первого порядка. Представленная комплексная методологическая система обеспечивает строгий научно-обоснованный подход к определению кинетических параметров ферментативных процессов в соответствии с современными стандартами аналитической биохимии и химической кинетики.

При исследовании других объектов растительного происхождения установлено, что потемнение тканей связано с окислением хлоргеновой кислоты о-дифенолоксидазой, которая также дает темноокрашенные продукты (Метлицкий, 1976). Увеличение содержания тирозина возможно из фенилаланина (Ленинджер, 1976), который образуется за счет гидролиза белка (Жук, 1982).

Повышение температуры хранения приводит к резкому повышению активности дифенолоксидазы. Так, через 24 ч хранения активность фермента возрастает в грибах с коричневым цветом эпителия на 18,2 %, а в грибах с белым цветом эпителия на 36 %. При дальнейшем хранении активность фермента возрастает примерно равномерно в обоих штаммах грибов. Это относится и к содержанию свободного тирозина. Вместе с тем темпы роста содержания последнего замедляются не одинаково.

Таблица 2. Изменение содержания свободного тирозина в грибах при хранении, мг/100 г сухой массы (при $n = 7$)
Table 2. Change in the content of free tyrosine in mushrooms during storage, mg/100 g of dry weight

Срок хранения, сут	Температура хранения, °C			
	0–4		18–22	
	М	% от предыдущего	М	% от предыдущего
Шампиньоны с коричневой окраской поверхности шляпок				
На начало	35,3 ± 1,76	–	35,3 ± 1,76	–
1	40,3 ± 1,10	114,2	57,4 ± 2,87	162,6
2	47,1 ± 2,36	116,8	76,7 ± 3,83	133,6
3	60,4 ± 3,47	128,2	97,5 ± 4,87	127,1
4	79,2 ± 4,21	131,1	–	–
5	99,7 ± 4,93	125,9	–	–
6	115,8 ± 5,78	116,1	–	–
НСР ₀₅	3,49	–	3,34	–
Шампиньоны с белой окраской поверхности шляпок				
На начало	65,9 ± 3,29	–	65,9 ± 3,29	–
1	76,4 ± 3,82	115,9	94,7 ± 4,78	143,7
2	97,2 ± 4,89	127,2	147,0 ± 7,30	155,2
3	117,4 ± 5,89	120,8	189,2 ± 9,41	128,7
4	143,0 ± 7,24	121,8	–	–
5	178,9 ± 8,93	125,1	–	–
6	208,1 ± 10,41	116,3	–	–
НСР ₀₅	6,39	–	6,12	–

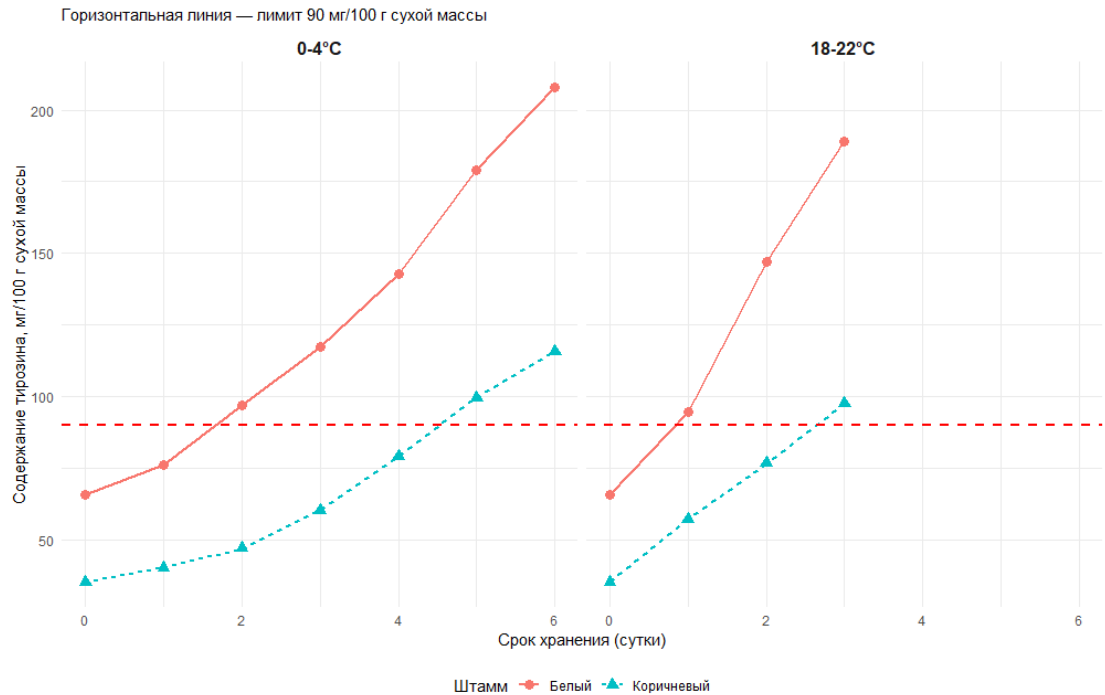


Рис. 1. Изменение содержания свободного тирозина в грибах при хранении
Fig. 1. Changes in the content of free therosin in mushrooms during storage

Одним из критериев биологической активности свежих грибов является наличие аскорбиновой кислоты. При этом содержание последней при хранении зависит от активности аскорбинатоксидазы.

По результатам исследований активность фермента в зависимости от штамма заметно различается (табл. 3). Установлено, что на начало хранения активность аскорбинатоксидазы в грибах с коричневым цветом эпителия на 25 % ниже, чем в грибах с белым цветом эпителия.

Таблица 3. Изменение активности аскорбинатоксидазы шампиньонов при хранении, мкл O₂ на 1 г/1 ч (при n = 7)
Table 3. Changes in the activity of ascorbate oxidase of champignons during storage, mkl O₂ in 1 g/1 h (by n = 7)

Срок хранения, сут	Температура хранения, °C			
	0–4		18–22	
	М	% от предыдущего	М	% от предыдущего
Шампиньоны с коричневой окраской поверхности шляпок				
На начало	397,0	–	397,0	–
1	218,2	55,0	537,5	135,4
2	221,1	101,4	573,5	106,7
3	239,7	108,4	621,8	108,4
4	252,1	105,2		
5	268,8	106,6		
6	287,0	106,8		
НСР ₀₅	10,8	–		–
Шампиньоны с белой окраской поверхности шляпок				
На начало	530,3	–	530,3	–
1	269,2	50,8	800,3	150,9
2	297,8	110,6	900,5	112,5
3	330,1	110,8	955,1	106,1
4	355,9	107,8	–	–
5	382,7	107,5	–	–
6	419,1	109,5	–	–
НСР ₀₅	18,5	–	31,9	–

В процессе дальнейшего хранения темпы активности оксидазы в грибах с коричневым цветом эпителия ниже, чем с белым.

На рис. 2 представлена зависимость натурального логарифма активности фермента аскорбинатоксидазы (в мкл O₂ на г/ч) от срока хранения (сут) в грибах с белым цветом эпителия при температуре 0–4 °C. Период хранения отображается на оси абсцисс (0–6 сут), на оси ординат – значения ln(A), где A – абсолютная активность фермента, измеренная экспериментально в определенный момент времени. Точки на графике соответствуют логарифмическим преобразованиям фактических данных, тогда как прямая линия отображает результат линейной регрессии, построенной по модели первого порядка инактивации: $\ln(A) = \ln(A_0) - k \cdot t$.

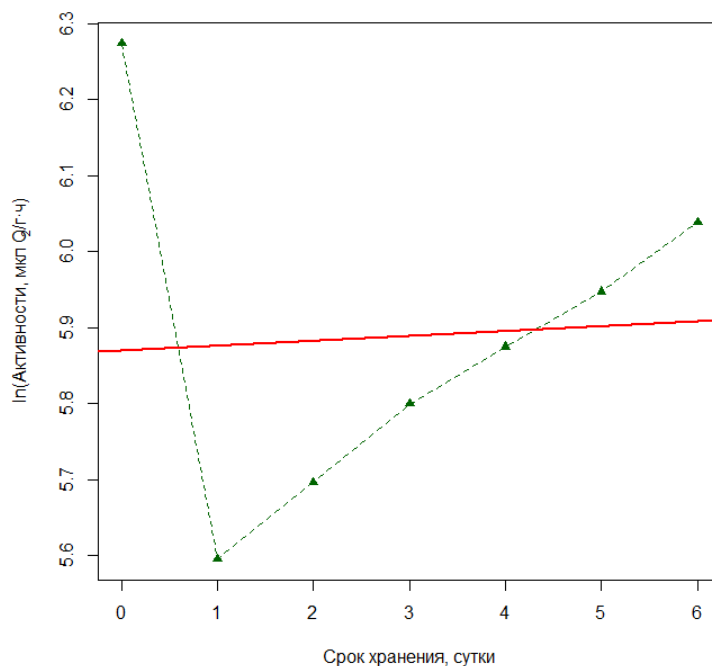


Рис. 2. Логарифм активности аскорбинатоксидазы (белый штамм, при t = 0–4 °C)

Fig. 2. Logarithm of activity (white strain, at t = 0–4 °C)

В результате анализа графика можно сделать вывод, что ферментативная активность уменьшается экспоненциально, что согласуется с кинетикой первого порядка. На основании линейного уравнения вычислена константа скорости инактивации фермента (k), равная $0,074 \text{ сут}^{-1}$. Это указывает на достаточно стабильное снижение ферментативной активности в условиях холодильного хранения. Величина коэффициента детерминации модели ($R^2 = 0,996$) подтверждает высокую степень соответствия эмпирических данных предложенной модели инактивации.

Таблица 4. Изменение содержания аскорбиновой кислоты шампиньонов при хранении мг/100 г сухой массы (при $n = 7$)

Table 4. Changes in the ascorbic acid content of champignons during storage, mg/100 g of dry weight (at $n = 7$)

Срок хранения, сут	Температура хранения, °C			
	0–4		18–22	
	М	% от предыдущего	М	% от предыдущего
Шампиньоны с коричневой окраской поверхности шляпок				
На начало	85,9	–	85,9	–
1	88,6	103,2	79,4	92,4
2	85,7	99,0	75,5	95,1
3	80,9	95,7	71,0	94,1
4	75,0	94,2	–	–
5	70,4	91,6	–	–
6	64,9	89,7	–	–
HCP ₀₅	3,93	–	3,89	–
Шампиньоны с белой окраской поверхности шляпок				
На начало	107,8	–	107,8	–
1	113,9	105,7	98,4	91,3
2	106,8	93,8	93,0	94,5
3	102,0	95,5	87,5	94,0
4	96,5	94,6	–	–
5	90,7	93,9	–	–
6	84,1	92,7	–	–
HCP ₀₅	4,50	–	4,83	–

С точки зрения физиологии и биохимии, снижение активности аскорбинатоксидазы в условиях охлаждения свидетельствует о замедлении внутриклеточных окислительно-восстановительных процессов, обусловленных ферментативной деградацией или денатурацией белковой структуры фермента. Понимание закономерностей инактивации ферментов при хранении грибов имеет большое прикладное значение для сохранения антиоксидантных свойств и товарного качества их плодовых тел.

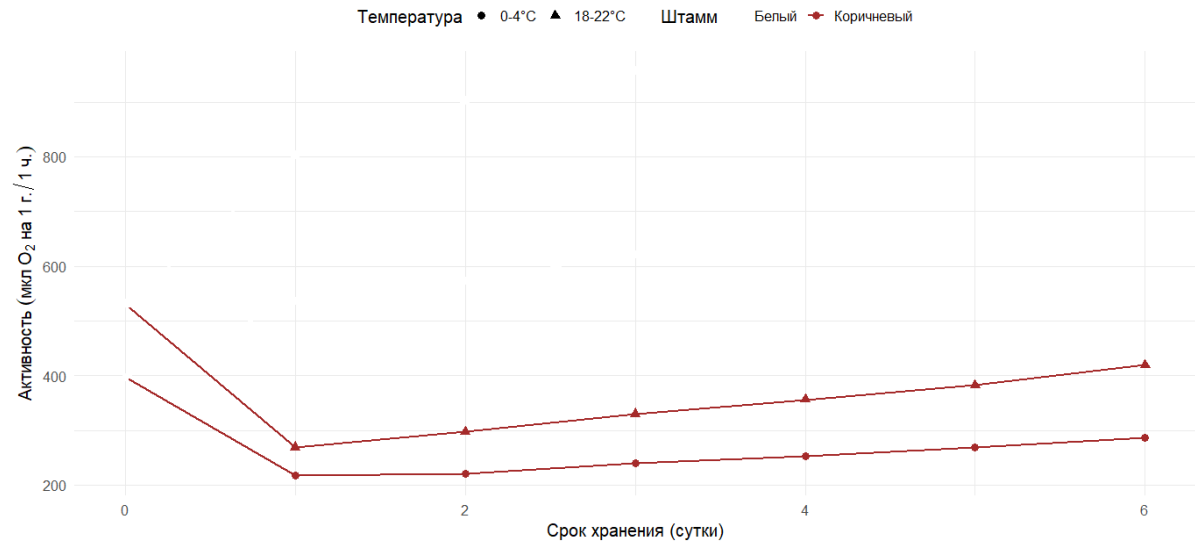


Рис. 3. Изменение активности аскорбинатоксидазы шампиньонов при хранении
Fig. 3. Changes in the activity of ascorbin oxidase of champignons during storage

Таким образом, представленный график демонстрирует надежный аналитический инструмент оценки стабильности ферментативной активности в хранении пищевых субстратов и может быть использован для сравнения между штаммами, температурными режимами и технологическими факторами.

Это соответственно должно отразиться на содержании аскорбиновой кислоты в различных штаммах грибов (табл. 4).

Из приведенных данных (табл. 3 и 4, рис. 3) следует, что активность аскорбинатоксидазы грибов на первые сутки хранения в условиях охлаждения снижается, а при последующем хранении постепенно возрастает. При этом на конец хранения (6 сут) количество последнего компонента осталось соответственно: в грибах с коричневым цветом эпителия 75,5 %, с белым цветом эпителия – 78,0 % от первоначального содержания. Активность фермента на конец хранения снизилась: в грибах с коричневым цветом эпителия на 27,7 %, а в грибах с белым цветом эпителия – на 21,0 %. Таким образом, в грибах с белым цветом эпителия остаточная активность ферментов (на одну и ту же дату хранения) выше, чем в грибах с коричневым цветом эпителия. Некоторое превышение остаточного содержания аскорбиновой кислоты в шампиньонах с белым цветом эпителия (на 2,5 %) по сравнению с шампиньонами с коричневой окраской поверхности шляпок обусловлено, возможно, высвобождением у первых связанной формы аскорбиновой кислоты.

Заключение

Проведенные исследования позволяют заключить:

- одной из причин быстрого ухудшения органолептических показателей качества и снижения содержания аскорбиновой кислоты в шампиньонах является активность дифенолоксидазы и аскорбинатоксидазы, активность которых в грибах с коричневой окраской поверхности шляпки ниже, чем с белой;
- рост активности ферментов к концу хранения связан, очевидно, с повышением степени аэрации тканей кислородом из-за ослабления консистенции, что обусловлено транспирационными потерями влаги;
- активность ферментов при всех температурных режимах имеет четкую тенденцию к росту;
- содержание свободного тирозина при всех температурах растет, а содержание аскорбиновой кислоты снижается.

Исходя из этого, для обоснования срока хранения шампиньонов разных штаммов необходимы комплексные исследования изменения не только их химического состава, но и органолептических показателей качества. Именно такому аспекту хранения шампиньонов разных штаммов и будут посвящены дальнейшие исследования, позволяющие рекомендовать сроки и оптимальные условия хранения.

Благодарности

Автор благодарит научного руководителя, доктора технических наук, профессора В. В. Дятлова за постановку и проведение экспериментальных исследований.

Конфликт интересов

Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

Библиографический список

- Дятлов В. В., Медведкова И. И., Попова Н. А. Экологически чистые растительные продукты в питании населения // Управление торговлей – теория, практика, инновации : материалы междунар. науч.-практ. конф., посвященной 95-летию Российского университета кооперации, г. Москва, 27–28 марта 2008 г. М. : РосУК, 2008а. С. 185–187.
- Дятлов В. В., Попова Н. А. Стандартизация качества свежих шампиньонов // Оборудование и технологии пищевых производств : сб. науч. тр. Донецкого национального университета экономики и торговли. Донецк, 2008б. Вып. 18. С. 30–36.
- Дятлов В. В., Попова Н. А., Медведкова И. И. Качество и безвредность шампиньонов при хранении // Товарознавчий Вісник. 2011. № 3. С. 96–104. EDN: RJFVNJ.
- Дятлов В. В. Качество и сохраняемость яблок с пленочным покрытием. Донецк : ДонДУЭТ, 2004. 214 с.
- Жук Ю. Т. Консервирование и хранение грибов. М. : Легкая и пищевая промышленность, 1982. 141 с.
- Иванова Е. С. Аскорбиновая кислота: свойства и динамика накопления в растениях // Научный взгляд молодежи на современные проблемы АПК : сб. ст. по материалам IV Междунар. науч.-практ. конф. студентов и магистрантов, Горки, 25 апреля 2024 г. Горки : Белорусская государственная сельскохозяйственная академия, 2024. С. 22–25.
- Кондратенко В. В., Посокина Н. Е., Федянина Н. И., Карастоянова О. В. [и др.]. Показатели качества *Agaricus bisporus* после обработки УФ-излучением // Техника и технология пищевых производств. 2022. Т. 52, № 4. С. 762–774. DOI: <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2022-4-2404>. EDN: EPYPHL.
- Ленинджер А. Биохимия. Молекулярные основы структуры и функции клетки. М. : Мир, 1976. 957 с.

- Лифенцева Л. В., Неверов Е. Н., Короткий И. А., Тюнин А. Д. Определение оптимальных параметров замораживания при низкотемпературной обработке культивируемых грибов шампиньонов и вешенки обыкновенной // Вестник КрасГАУ. 2023. № 7(196). С. 200–208. DOI: <https://doi.org/10.36718/1819-4036-2023-7-200-208>. EDN: JNQLVA.
- Макашвили Г. А. Методы биологической стабилизации плодов в процессе хранения. М. : Экономика, 1975. 205 с.
- Медведкова И. И., Дятлов В. В., Попова Н. А. Анализ содержания полисахаридов и продуктов их распада при хранении свежих культивируемых грибов *Lentinus edodes* // Евразийский союз ученых. 2015. № 4–4(13). С. 140–143. EDN: XDDKCN.
- Медведкова И. И., Попова Н. А. Обеспечение сохранения потребительских свойств культивируемых грибов с помощью низких температур // Научное творчество молодежи в индустрии гостеприимства : материалы VI Всерос. науч.-практ. конф. с междунар. участием студентов, аспирантов и молодых ученых, г. Донецк, 14–15 марта 2024 г. М. : Перо, 2024. С. 278–280. EDN: GWGQHT.
- Медведкова И. И., Попова Н. А. Целесообразность хранения свежих грибов при оптимальном температурном режиме // Потребительский рынок: проблемы качества и безопасности товаров и услуг : материалы 2-й Всерос. науч.-практ. конф. с междунар. участием, г. Орёл, 5 декабря 2023 г. Орёл: ОГУ им. И. С. Тургенева, 2023. С. 155–158. EDN: JZUOBJ.
- Метлицкий Л. В. Основы биохимии плодов и овощей. М. : Экономика, 1976. 349 с.
- Николаева М. А., Бакайтис В. И., Рязанова О. А. Влияние химического состава на пищевую ценность свежих грибов // Индустрия питания. 2021. Т. 6, № 3. С. 84–92. DOI: <https://doi.org/10.29141/2500-1922-2021-6-3-10>. EDN: ZHBFOR.
- Рождественская Л. Н., Бикбулатов П. С., Чугунова О. В., Заворохина Н. В. Потенциальные возможности промышленного получения изолята горохового белка // Вестник КрасГАУ. 2024. № 8(209). С. 130–139. DOI: <https://doi.org/10.36718/1819-4036-2024-8-130-139>. EDN: EEMSQI.
- Салимов В. А. Продовольственный кризис и угроза голода на Земле // Вестник Удмуртского университета. Социология. Политология. Международные отношения. 2024. Т. 8, № 1. С. 77–82. DOI: <https://doi.org/10.35634/2587-9030-2024-8-1-77-82>. EDN: GRBACV.
- Умбрейт В. В., Бурис Р. Х., Штауфер Дж. Ф. Манометрические методы изучения тканевого обмена. М. : Изд-во иностр. лит., 1951. 360 с.
- Хренов А. В. Производство шампиньонов в России // Школа грибоводства. 2025. № 1. С. 14–19.
- Шишкина Н. С., Карастоянова О. В., Федянина Н. И., Коровкина Н. В. Применение комплексной радиационно-холодильной технологии для антисептирования и сохранения качества шампиньонов // Вестник Воронежского государственного университета инженерных технологий. 2020. № 82(3). С. 58–64. DOI: <https://doi.org/10.20914/2310-1202-2020-3-58-64>. EDN: LIJPMC.

References

- Dyatlov, V. V., Medvedkova, I. I., Popova, N. A. 2008a. Environmentally friendly plant-based products in public nutrition. Proceedings of Intern. scientific and practical conf. *Trade Management – Theory, Practice, Innovation*, Moscow, 27–28 March, 2008. Moscow, pp. 185–187. (In Russ.)
- Dyatlov, V. V., Popova, N. A. 2008b. Standardization of the quality of fresh champignons. In coll. of scientific articles *Equipment and Technologies of Food Production*. Donetsk, Iss. 18, pp. 30–36. (In Russ.)
- Dyatlov, V. V., Popova, N. A., Medvedkova, I. I. 2011. Quality and safety of champignons during storage. *Product Science Bulletin*, 3, pp. 96–104. EDN: RJFVNJ. (In Russ.)
- Dyatlov, V. V. 2004. Quality and storability of apples with film coating. Donetsk. (In Russ.)
- Zhuk, Yu. T. 1982. Conservation and storage of mushrooms. Moscow. (In Russ.)
- Ivanova, E. S. 2024. Ascorbic acid: Properties and accumulation dynamics in plants. Coll. of articles based on the materials of the IV Intern. scientific-practical conf. of students and postgraduates *Scientific view of young people on modern problems of the agro-industrial complex*. Gorki, Belarusian State Agricultural Academy, pp. 22–25. (In Russ.)
- Kondratenko, V. V., Posokina, N. E., Fedyanina, N. I., Karastoyanova, O. V. et al. 2022. Quality indicators of *Agaricus bisporus* after treatment with UV radiation. *Food Processing: Techniques and Technology*, 52(4), pp. 762–774. DOI: <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2022-4-2404>. EDN: EPYPHL. (In Russ.)
- Lehninger, A. 1976. Biochemistry. Moscow. (In Russ.)
- Lifentseva, L. V., Neverov, E. N., Korotkiy, I. A., Tyunin, A. D. 2023. Determination of optimal freezing parameters during low-temperature processing of cultivated champignon mushrooms and oyster mushrooms. *Bulletin of KSAU*, 7(196), pp. 200–208. DOI: <https://doi.org/10.36718/1819-4036-2023-7-200-208>. EDN: JNQLVA. (In Russ.)
- Makashvili, G. A. 1975. Methods of biological stabilization of fruits during storage. Moscow. (In Russ.)

- Medvedkova, I. I., Dyatlov, V. V., Popova, N. A. 2015. Polysaccharide content and decomposition products during storage of fresh cultivated mushrooms *Lentinus edodes*. *Evrasiiski Soyuz Uchyonykh*, 4–4(13), pp. 140–143. EDN: XDDKCN. (In Russ.)
- Medvedkova, I. I., Popova, N. A. 2024. Ensuring the preservation of consumer qualities of cultivated mushrooms using low temperatures. Proceedings of VI All-Russian scientific and practical conf. with Intern. participation of students, postgraduates and young scientists *Youth Scientific Creativity in the Hospitality Industry*. Donetsk, 14–15 March, 2024. Moscow, pp. 278–280. EDN: GWGQHT. (In Russ.)
- Medvedkova, I. I., Popova, N. A. 2023. Feasibility of storing fresh mushrooms under optimal temperature conditions. Proceedings of 2nd All-Russian scientific and practical conf. with Intern. participation *Consumer Market: Problems of Quality and Safety of Goods and Services*. Oryol, 5 December, 2023. Oryol, pp. 155–158. EDN: JZUOBJ. (In Russ.)
- Metlitsky, L. V. 1976. Fundamentals of biochemistry of fruits and vegetables. Moscow. (In Russ.)
- Nikolaeva, M. A., Bakaitis, V. I., Ryazanova, O. A. 2021. Influence of chemical composition on the nutritional value of fresh mushrooms. *Food Industry*, 6(3), pp. 84–92. DOI: <https://doi.org/10.29141/2500-1922-2021-6-3-10>. EDN: ZHBFOR. (In Russ.)
- Rozhdestvenskaya, L. N., Bikbulatov, P. S., Chugunova, O. V., Zavorokhina, N. V. 2024. Potential for industrial production of pea protein isolate. *Bulletin of KSAU*, 8(209), pp. 130–139. DOI: <https://doi.org/10.36718/1819-4036-2024-8-130-139>. EDN: EEMSQI. (In Russ.)
- Salimov, V. A. 2024. Food crisis and the threat of hunger on earth. *Bulletin of Udmurt University*, 8(1), pp. 77–82. DOI: <https://doi.org/10.35634/2587-9030-2024-8-1-77-82>. EDN: GRBACV. (In Russ.)
- Umbreit, W. W., Burris, R. H., Stauffer, J. F. 1951. Manometric techniques for studying tissue metabolism. Moscow. (In Russ.)
- Khrenov, A. V. 2025. Production of champignons in Russia. *School of Mushroom Growing*, 1, pp. 14–19. (In Russ.)
- Shishkina, N. S., Karastoyanova, O. V., Fedyanina, N. I., Korovkina, N. V. 2020. Application of complex radiation-refrigeration technology for antisepticization and quality preservation of champignons. *Proceedings of the Voronezh State University of Engineering Technologies*, 82(3), pp. 58–64. DOI: <https://doi.org/10.20914/2310-1202-2020-3-58-64>. EDN: LIJPMC. (In Russ.)

Сведения об авторе

Попова Наталья Александровна – ул. Щорса, 31, г. Донецк, Россия, 283050; Донецкий национальный университет экономики и торговли им. Михаила Туган-Барановского, канд. техн. наук, доцент;
e-mail: hiora75@mail.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0469-0956>

Natalia A. Popova – 31 Shchorsa Str., Donetsk, Russia, 283050; Donetsk National University of Economics and Trade named after Mikhail Tugan-Baranovsky, Cand. Sci. (Engineering), Associate Professor;
e-mail: hiora75@mail.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0469-0956>

УДК 62.65 + 62-97/-98

Возникновение кризиса теплообмена первого рода на вертикальной парогенерирующей трубе при выпаривании солевых растворов

А. В. Жуков, О. А. Голубева*

*Мурманский арктический университет, г. Мурманск, Россия;
e-mail: golubevaoo@mauniver.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2747-3054>

Информация о статье

Поступила
в редакцию
20.05.2025;

получена
после доработки
24.06.2025;

принята
к публикации
02.07.2025

Ключевые слова:

кризис теплообмена
первого рода,
парогенерирующая
труба,
тепловизионная съемка,
концентрация раствора,
выпарной аппарат

Реферат

Кризис теплообмена первого рода возникает на парогенерирующей трубе выпарного аппарата при скачкообразном переходе от пузырькового кипения к пленочному, когда вдоль теплообменной поверхности образуется паровая пленка, ухудшающая условия теплопередачи. Исследования проводились на солевых растворах хлористого натрия концентрацией по сухому веществу 5–11 % с равномерным шагом 2 % (5, 7, 9, 11 %) при трех режимах обогрева парогенерирующей трубы, установленных в ходе предыдущих исследовательских этапов. В ходе экспериментов определялись сила тока и напряжение в цепи обогревающей спирали, а также температура обогреваемой поверхности. Кризис теплообмена первого рода фиксировался посредством тепловизионной съемки при резком скачкообразном изменении температуры поверхности трубы. Теплограммы обрабатывались с помощью программного обеспечения, соответствующего модели использованного тепловизора. На основе тепловых профилей теплообменной поверхности парогенерирующей трубы подтверждается возникновение кризиса теплообмена первого рода в средней и нижней частях парогенерирующей трубы. Критическая температура солевых растворов увеличивается как с повышением концентрации раствора в условиях постоянного режима обогрева, так и с увеличением плотности обогрева при постоянной концентрации. Проведенное исследование процессов выпаривания солевых растворов при различных экспериментальных режимах способствует выработке новых научно-практических подходов к исследованию кризиса теплообмена первого рода.

Для цитирования

Жуков А. В. и др. Возникновение кризиса теплообмена первого рода на вертикальной парогенерирующей трубе при выпаривании солевых растворов. Вестник МГТУ. 2025. Т. 28, № 3. С. 439–445. DOI: <https://doi.org/10.21443/1560-9278-2025-28-3-439-445>.

The occurrence of a heat exchange crisis of the first kind on a vertical steam-generating pipe during the evaporation of salt solutions

Andrey V. Zhukov, Olga A. Golubeva*

*Murmansk Arctic University, Murmansk, Russia;
e-mail: golubevaoo@mauniver.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2747-3054>

Article info

Received
20.05.2025;

received
in revised
24.06.2025;

accepted
02.07.2025

Key words:

heat exchange crisis
of the first kind,
steam-generating
pipe,
thermal imaging,
solution concentration,
evaporator

Abstract

A heat exchange crisis of the first kind occurs on the steam-generating tube of the evaporator during an abrupt transition from nucleate boiling to film boiling, when a steam film is formed along the heat-exchange surface, worsening the heat transfer conditions. The studies have been conducted on saline solutions of sodium chloride with a dry matter concentration of 5–11 % with a uniform step of 2 % (5, 7, 9, 11 %) under three heating modes of the steam-generating tube established during the previous research stages. During the experiments, the current strength and voltage in the heating coil circuit, as well as the temperature of the heated surface, have been determined. A heat exchange crisis of the first kind is recorded using thermal imaging photography during an abrupt change in the tube surface temperature. Thermal images have been processed using software corresponding to the model of the thermal imager used. Based on the thermal profiles of the heat exchange surface of the steam-generating tube, the occurrence of a heat exchange crisis of the first kind in the middle and lower parts of the steam-generating tube is confirmed. The critical temperature of salt solutions increases both with an increase in the solution concentration under conditions of a constant heating mode and with an increase in the heating density at a constant concentration. The conducted study of the processes of evaporation of salt solutions under various experimental conditions contributes to the development of new scientific and practical approaches to the study of the crisis of heat exchange of the first kind.

For citation

Zhukov, A. V. et al. 2025. The occurrence of a heat exchange crisis of the first kind on a vertical steam-generating pipe during the evaporation of salt solutions. *Vestnik of MSTU*, 28(3), pp. 439–445. (In Russ.) DOI: <https://doi.org/10.21443/1560-9278-2025-28-3-439-445>.

Введение

Кризис теплообмена первого рода возникает на парогенерирующей трубе выпарного аппарата при скачкообразном переходе от пузырькового кипения к пленочному, когда вдоль теплообменной поверхности образуется паровая пленка, ухудшающая условия теплопередачи¹ (Гогонин, 2009; Дьяконов и др., 2015; Katto, 1986). Данный процесс связан с резким повышением температуры теплопередающей поверхности, что негативно влияет на эксплуатационные свойства выпарных аппаратов, снижает их производительность и увеличивает затраты на техническое обслуживание.

Исследование кризиса теплообмена первого рода, в том числе в части определения участков его возникновения на парогенерирующей трубе, имеет большое значение в ходе теоретического осмысления данного физического процесса и выработки конкретных эксплуатационных рекомендаций, касающихся повышения эффективности работы выпарных аппаратов (Голубева, 1998).

Проблему ухудшения условий теплопередачи не удалось решить посредством многоточечного измерения температуры поверхности парогенерирующей трубы выпарного аппарата, поскольку явление кризиса теплообмена первого рода сложно прогнозировать (Жуков, 2024). В ходе экспериментальных исследований была поставлена задача определения участков наиболее частого возникновения кризиса теплообмена первого рода.

Целью эксперимента являлось подтверждение расположения участков парогенерирующей трубы, испытывающих максимальную тепловую нагрузку и подверженных наибольшему износу вследствие возникновения кризиса теплообмена первого рода, а также установление влияния концентрации солевых растворов на величину критической температуры.

Материалы и методы

Для решения поставленной задачи на кафедре технологического и холодильного оборудования Мурманского арктического университета разработана и собрана экспериментальная установка на основе одиночной вертикальной парогенерирующей трубы.

Для установки выбрана медная труба 22×1 , имитирующая вертикальную трубчатую теплообменную поверхность выпарного аппарата; отношение длины трубы к ее внутреннему диаметру трубы составило 37,5. Выбор данных параметров парогенерирующей трубы обусловлен предыдущими этапами выполненных экспериментальных исследований (Жуков и др., 2023; 2024б). Электрообогрев поверхности парогенерирующей трубы был равномерным и обеспечивался нихромовой электрической спиралью мощностью 1,5 кВт. Наружная поверхность медной трубы, во избежание короткого замыкания, покрыта изолятором – стеклотканью. Подаваемое на спираль напряжение регулировалось с помощью автотрансформатора типа АДСН-20-220-75 УХЛ4 ТУ-16-517 847-74 (класс изоляции А, регулируемое напряжение 5–240 В).

Растворы хлористого натрия концентрацией по сухому веществу 5–11 % с равномерным шагом 2 % (5, 7, 9, 11 %) были приготовлены из соли, соответствующей ГОСТ Р 51574-2018².

Экспериментальные исследования проводились с использованием трех режимов обогрева парогенерирующей трубы, определенных в ходе предыдущих исследовательских этапов и представленных в таблице. При каждом режиме осуществлялось трехкратное повторение экспериментов с соблюдением условий стационарного электрообогрева теплообменной поверхности парогенерирующей трубы.

Таблица. Параметры экспериментальных режимов исследования³ (Голубева и др., 2017; 2018;

Жуков и др., 2024а)

Table. Parameters of experimental modes of research (Golubeva et al., 2017; 2018; Zhukov et al., 2024a)

Номер режима	Параметр режима обогрева		
	Напряжение, В	Сила тока, А	Плотность обогрева, Вт/м ²
1	150	3,6–4,1	8681,67–9887,46
2	160	4,0–4,4	10289,39–11138,33
3	170	4,2–4,6	11479,10–12572,35

Схема экспериментальной установки представлена на рис. 1. В ходе проведения эксперимента солевой раствор подавался через вентиль 5, труба 1 нагревалась спиралью 3, амперметром фиксировалась сила тока, вольтметром – напряжение. Температура поверхности парогенерирующей трубы измерялась

¹ Дьяконов В. Г., Лоншаков О. А. Основы теплопередачи и массообмена. Казань : КНИТУ, 2015. 242 с.

² ГОСТ Р 51574-2018. Соль пищевая. Общие технические условия. Введен 01.09. 2018. М. : Стандартинформ, 2018. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200159300> (дата обращения 01.05. 2025).

³ Голубева О. А., Грекова О. М. Разработка и совершенствование оборудования для исследования кризиса теплообмена первого рода в многокомпонентных гетерогенных смесях // Отчет по ГБ НИР "Разработка и совершенствование технологического и холодильного оборудования пищевых производств" № ГР 01201375267 ; номер государственного учета АААА-Б18-218021660002-2 ; дата постановки на учет 16.02.2018.

мультиметром марки М 838, оснащенным термопарой типа "К" (4) в шести точках по высоте, расположенных с равномерным шагом. Уровень заполнения выпарной трубы солевым раствором контролировался с помощью стеклянной трубы 2.

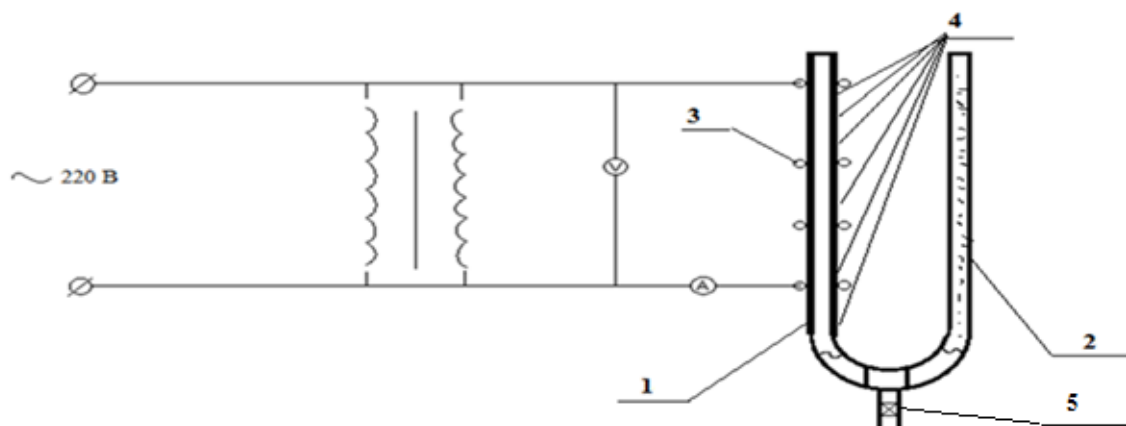


Рис. 1. Схема экспериментальной установки (составлена авторами)
Fig. 1. Experimental setup diagram (compiled by the authors)

Кризис теплообмена первого рода устанавливался на основании резкого скачка температуры парогенерирующей трубы, измеряемой термопарами. Момент кризиса фиксировался посредством тепловизионной съемки с помощью тепловизора Testo 875-1i. Полученные тепловые профили обрабатывались с использованием программного обеспечения Testo irsoft 4.5 на основе термографического анализа изображений в инфракрасном диапазоне поиска.

Результаты и обсуждение

В результате обработки экспериментальных данных получены тепловые профили с распределением температуры по высоте теплообменной поверхности.

Общий вид окна экрана программного обеспечения Testo irsoft 4.5 представлен на рис. 2. Результат тепловизионной съемки и тепловой профиль для солевого раствора 5%-й концентрации, выпариваемого при режиме 1 (согласно данным таблицы), показаны на рис. 3 и 4. В ходе эксперимента производилась съемка всей обогреваемой части трубы. На оси ординат программой нанесены значения температуры обогреваемой поверхности в градусах Цельсия, на оси абсцисс – длина трубы в направлении снизу вверх от начала координат.

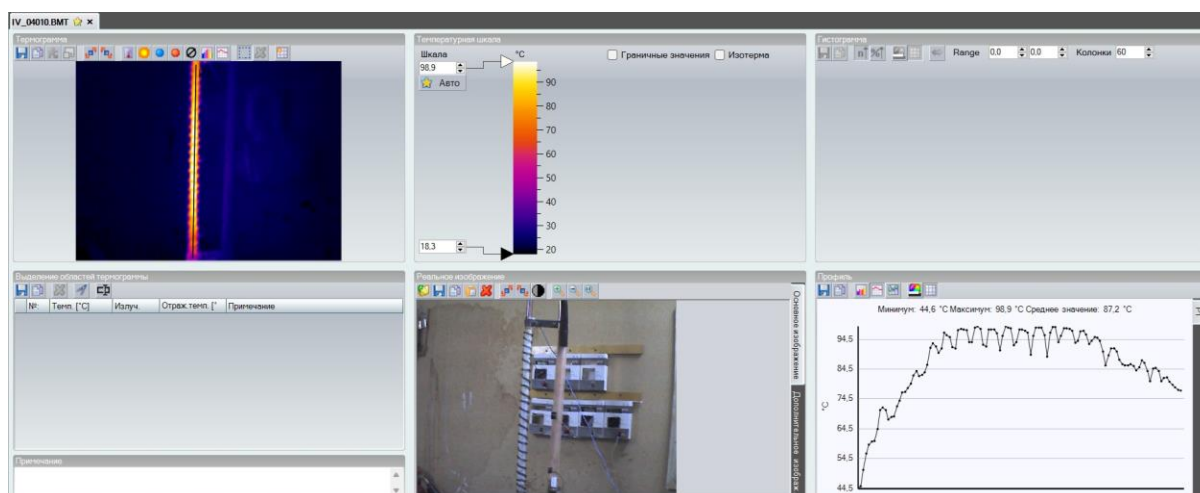


Рис. 2. Общий вид окна экрана программного обеспечения Testo irsoft 4.5 (составлен авторами)
Fig. 2. General view of the Testo irsoft 4.5 software screen window (compiled by the authors)

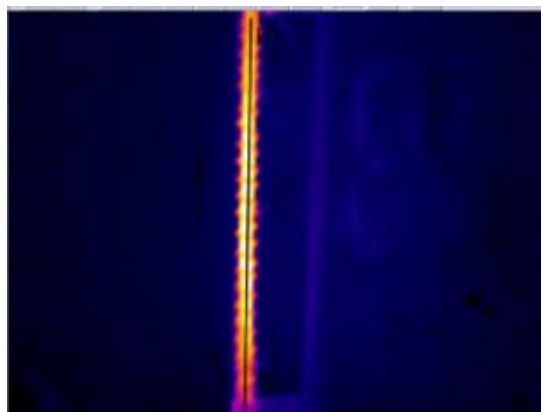
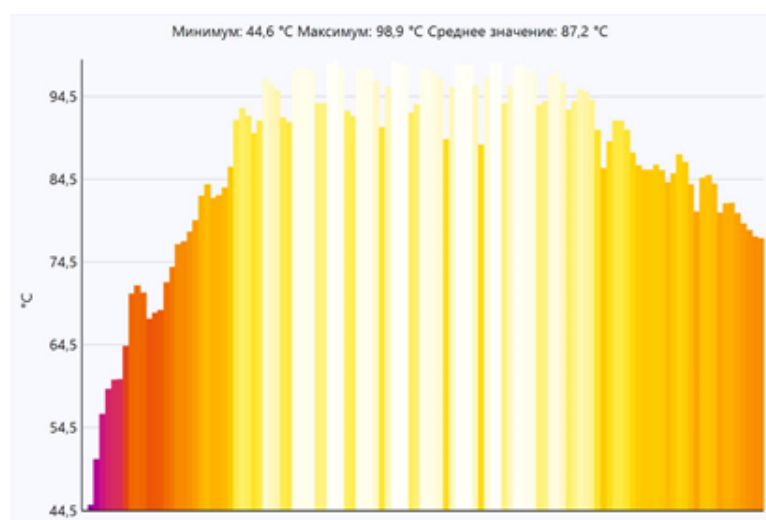
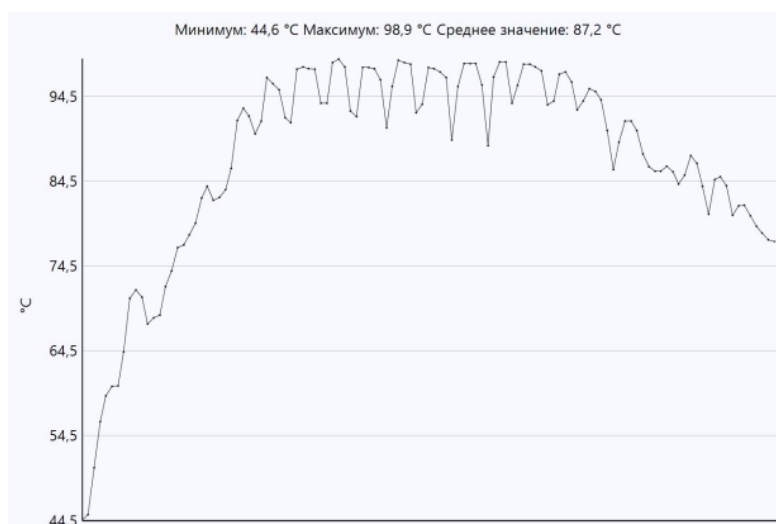


Рис. 3. Фото тепловизионной съемки для солевого раствора 5%-й концентрации, выпариваемого при режиме 1 (фото авторов)

Fig. 3. Photo of thermal imaging for a 5 % concentration salt solution evaporated in mode 1 (photo made by the authors)



a



б

Рис. 4. Тепловые профили для солевого раствора 5%-й концентрации, выпариваемого при режиме 1: *a* – заполненный; *б* – линейный (составлены авторами)

Fig. 4. Thermal profile for a 5 % salt solution evaporated in mode 1: *a* – filled out; *б* – linear (compiled by the authors)

На тепловом профиле одновременно отражаются значения температур обогреваемой поверхности и греющей спирали, что усложняет обработку экспериментальных данных. В процессе обработки данных более удобным является использование теплового профиля линейного вида, на котором верхние точки "зубцов" соответствуют температуре спирали, средние и нижние – температуре трубчатой теплообменной поверхности.

Наименьшая и наибольшая температура начала кризиса теплообмена первого рода для солевых растворов показана на рис. 5 и 6. Представленные результаты указывают на повышение критической температуры с ростом концентрации раствора в условиях постоянного режима обогрева и увеличением плотности обогрева при постоянной концентрации раствора.

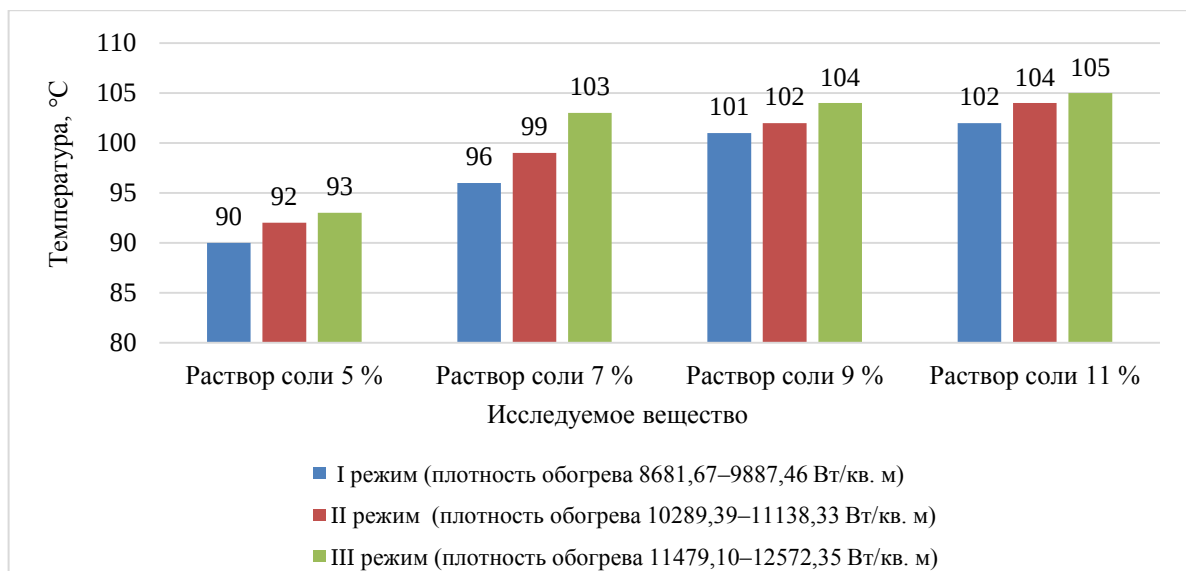


Рис. 5. Наименьшая температура начала кризиса теплообмена первого рода для солевых растворов (графики составлены авторами)

Fig. 5. The lowest temperature of the onset of the first kind heat transfer crisis for salt solutions (compiled by the authors)

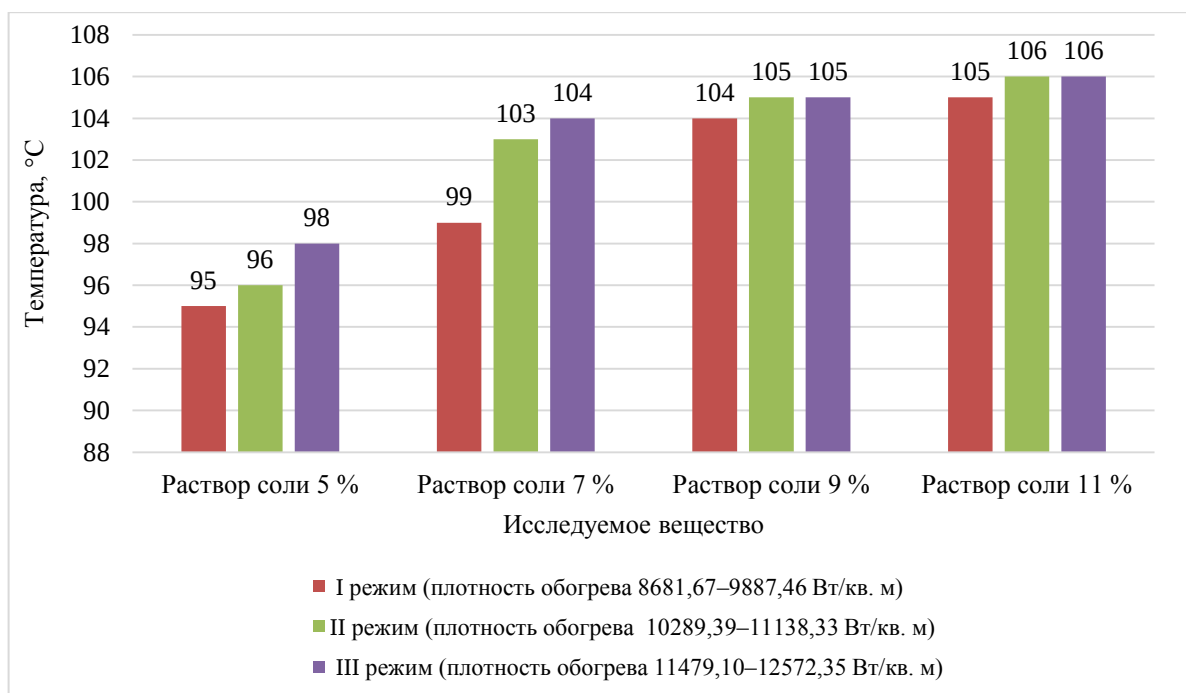


Рис. 6. Наибольшая температура начала кризиса теплообмена первого рода для солевых растворов (графики составлены авторами)

Fig. 6. The highest temperature of the onset of the first-order heat transfer crisis for salt solutions (compiled by the authors)

Заключение

В результате исследования получены тепловые профили по высоте теплопередающей поверхности парогенерирующей трубы с распределением температуры, на основе которых подтверждено возникновение кризиса теплообмена первого рода в средней и нижней части парогенерирующей трубы.

Критическая температура солевых растворов увеличивается как с повышением концентрации раствора в условиях постоянного режима обогрева, так и с увеличением плотности обогрева при постоянной концентрации раствора.

Проведенное исследование процессов выпаривания солевых растворов при различных экспериментальных режимах способствует выработке новых научно-практических подходов к исследованию кризиса теплообмена первого рода.

Благодарности

Авторы благодарят доктора технических наук, профессора кафедры технологии пищевых производств Мурманского арктического университета Ю. В. Шокину за помощь в ходе проведения тепловизионной съемки и предоставление экспериментального оборудования.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Библиографический список

- Гогонин И. И. Зависимость критического теплового потока при кипении от физических свойств теплоносителя // Теплофизика и аэродинамика. 2009. Т. 16, № 1. С. 115–122. EDN: KJUKXR.
- Голубева О. А. Повышение эффективности работы выпарных аппаратов в условиях критических тепловых потоков : дис. ... канд. техн. наук : 05.18.12. Мурманск, 1998. 147 с.
- Голубева О. А., Грекова О. М. Кризис теплообмена первого рода в молочно-сахарных смесях и способы его устранения // Инновации и продовольственная безопасность. 2018. № 2(20). С. 36–44. EDN: UQFSAI.
- Голубева О. А., Грекова О. М. Кризис теплообмена первого рода при выпаривании молока: проблема и способы решения // Вестник МГТУ. 2017. Т. 20, № 3. С. 547–555. DOI: <https://doi.org/10.21443/1560-9278-2017-20-3-547-555>. EDN: ZMVWBD.
- Жуков А. В. Некоторые проблемы развития технической науки в Арктической зоне // Интеграционные процессы в современной науке: новые подходы и актуальные вопросы : сб. науч. тр. по материалам XXVII Междунар. науч.-практ. конф., г. Анапа, 27 ноября 2024 г. Анапа, 2024. С. 18–22. EDN: DCOLMC.
- Жуков А. В., Голубева О. А. Исследование кризиса теплообмена первого рода при выпаривании солевых растворов // Научные труды Дальрыбвтуза. 2024б. Т. 69, № 3. С. 28–36. DOI: <https://doi.org/10.48612/dalrybvtuz/2024-69-03>. EDN: FJQJVB.
- Жуков А. В., Голубева О. А. Сравнение температуры возникновения кризиса теплообмена первого рода в различных пищевых средах // сб. тезисов III Междунар. симпозиума "Пищевые технологии", посвящ. 90-летию со дня рождения д-ра техн. наук, профессора, заслуженного деятеля науки и техники РФ, основателя науч. школы Л. А. Остроумова, г. Кемерово, 20–21 сентября 2024 г. Кемерово : Кемеровский государственный университет, 2024а. С. 511–514. EDN: ITACHZ.
- Жуков А. В., Голубева О. А. Сходство и различие кризиса теплообмена первого рода в гетерогенных пищевых смесях и пищевых растворах // Известия высших учебных заведений. Арктический регион. 2023. № 1. С. 20–26. EDN: KNQPTI.
- Katto Yu. Critical heat flux during boiling. San Francisco. 1986. 36 p.

References

- Gogonin, I. I. 2009. Dependence of the critical heat flux during boiling on the physical properties of the coolant. *Thermophysics and Aeromechanics*, 16(1), pp. 115–122. EDN: KJUKXR. (In Russ.)
- Golubeva, O. A. 1998. Improving the efficiency of evaporators in conditions of critical heat flows. Ph.D. Thesis. Murmansk. (In Russ.)
- Golubeva, O. A., Grekova, O. M. 2018. Heat transfer crisis of the first kind in milk-sugar mixtures and methods of its elimination. *Innovations and Food Safety*, 2(20), pp. 36–44. EDN: UQFSAI. (In Russ.)
- Golubeva, O. A., Grekova, O. M. 2017. Heat transfer crisis of the first kind during milk evaporation: Problems and solutions. *Vestnik MSTU*, 20(3), pp. 547–555. DOI: <https://doi.org/10.21443/1560-9278-2017-20-3-547-555>. EDN: ZMVWBD. (In Russ.)
- Zhukov, A. V. 2024. Some problems of technical science development in the Arctic zone. Proceedings of the XXVII Intern. scien. and pract. conf. *Integration processes in modern science: new approaches and topical issues*, Anapa, November 27, 2024. Anapa, pp. 18–22. EDN: DCOLMC. (In Russ.)

- Zhukov, A. V., Golubeva, O. A. 2024b. Investigation of the heat exchange crisis of the first kind at evaporation of salt solutions. *Scientific Journal of the Far East State Technical Fisheries University*, 69(3), pp. 28–36. DOI: <https://doi.org/10.48612/dalrybvtuz/2024-69-03>. EDN: FJQJVB. (In Russ.)
- Zhukov, A. V., Golubeva, O. A. 2024a. Comparison of the temperature of the heat exchange crisis of the first kind in different food media. Kemerovo, pp. 511–514. EDN: ITACHZ. (In Russ.)
- Zhukov, A. V., Golubeva, O. A. 2023. Similarity and difference of the heat exchange crisis of the first kind in heterogeneous food mixtures and food solutions. *News of Higher Educational Institutions. Arctic Region*, 1, pp. 20–26. EDN: KNQPTI. (In Russ.)
- Katto, Yu. 1986. Critical heat flux during boiling. San Francisco.

Сведения об авторах

Жуков Андрей Вячеславович – ул. Спортивная, 13, г. Мурманск, Россия, 183010;
Мурманский арктический университет, аспирант;
e-mail: zhukov-andrey12@mail.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3357-7469>

Andrey V. Zhukov – 13 Sportivnaya Str., Murmansk, Russia, 183010;
Murmansk Arctic University, PhD Student;
e-mail: zhukov-andrey12@mail.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3357-7469>

Голубева Ольга Алексеевна – ул. Спортивная, 13, г. Мурманск, Россия, 183010;
Мурманский арктический университет, канд. техн. наук, доцент;
e-mail: golubevaola@mauniver.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2747-3054>

Olga A. Golubeva – 13 Sportivnaya Str., Murmansk, Russia, 183010;
Murmansk Arctic University, Cand. Sci. (Engineering), Associate Professor;
e-mail: golubevaola@mauniver.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2747-3054>

Журнал зарегистрирован

Федеральной службой по надзору за соблюдением законодательства
в сфере массовых коммуникаций и охране культурного наследия
Свидетельство о регистрации средства массовой информации
ПИ № ФС77-26674 от 22 декабря 2006 г.

Оформить подписку на журнал "Вестник МГТУ" можно:

– по Объединенному каталогу "ПРЕССА РОССИИ". Подписной индекс – 41212

URL: <https://www.pressa-rf.ru/cat/1/edition/i41212/>

Журнал включен в Перечень российских рецензируемых научных журналов, в которых
должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание
ученых степеней доктора и кандидата наук:

https://vak.minobrnauki.gov.ru/documents#tab=_tab:editions~

Журнал включен в Российский индекс научного цитирования.

Журнал включен в базы данных: Zoological Record на платформе Web of Science (WoS),
Food Science and Technology Abstracts (FSTA), GeoRef.

Налоговая льгота – Общероссийский классификатор продукции
95 2000 ОК 005-93

ВЕСТНИК МГТУ

Том 28, № 3 (июль – сентябрь) 2025 г.



Подписано в печать 23.09.2025
Дата выхода в свет 30.09.2025
Формат 60×84/8. Бумага типографская
Печать ризографическая
Усл. печ. л. 14.18. Тираж 500 экз. Заказ № 149.
Цена 2 507 р. 00 коп.

Адрес издателя:
ФГАОУ ВО "МАУ"
183010, г. Мурманск, ул. Спортивная, д. 13

Отпечатано в редакционно-издательском отделе МАУ:
183010, г. Мурманск, ул. Спортивная, д. 13