

ISSN 1560-9278
eISSN 1997-4736

Вестник МГТУ

ТРУДЫ МУРМАНСКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО
ТЕХНИЧЕСКОГО УНИВЕРСИТЕТА
ТОМ 27, № 3 (июль – сентябрь), 2024 г.

ТЕХНОЛОГИЯ
ПРОДОВОЛЬСТВЕННЫХ
ПРОДУКТОВ



FOOD TECHNOLOGY

Vestnik of MSTU

SCIENTIFIC JOURNAL OF MURMANSK STATE
TECHNICAL UNIVERSITY
VOLUME 27, N 3 (July – September), 2024

16+

ISSN 1560-9278
eISSN 1997-4736

Вестник МГТУ

**ТРУДЫ МУРМАНСКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО
ТЕХНИЧЕСКОГО УНИВЕРСИТЕТА
ТОМ 27, № 3 (июль – сентябрь), 2024 г.**



Vestnik of MSTU

**SCIENTIFIC JOURNAL OF MURMANSK STATE
TECHNICAL UNIVERSITY
VOLUME 27, N 3 (July – September), 2024**

**Мурманск
2024**

ВЕСТНИК МГТУ
Том 27, № 3 (июль – сентябрь), 2024 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,
доцент (Мурманск, Россия)

**Редакционная коллегия
по направлению "Технология
продовольственных продуктов"**

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)
Лебская Т. К., д-р техн. наук, профессор
(Киев, Украина)
Мезенова О. Я., д-р техн. наук, профессор
(Калининград, Россия)
Мингалеева 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)
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 27, N 3 (July – September), 2024
Scientific journal
Published since January 1998
Issued quarterly

Founder
FSAEI HE "Murmansk Arctic University"

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

**The Editorial Board
(Food Technology)**

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. (Chemical),
Professor (Murmansk, Russia)
Donskaya G. A., Dr Sci. (Biology),
Ass. Professor (Moscow, Russia)
Krasulya O. N., Dr Sci. (Engineering),
Professor (Moscow, Russia)
Lebskaya T. K., Dr Sci. (Engineering), Professor
(Kiev, Ukraine)
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)
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

ISSN 1560-9278 (Print)
ISSN 1997-4736 (Online)

© ФГАОУ ВО "Мурманский арктический университет", 2024
© FSAEI HE "Murmansk Arctic University", 2024

СОДЕРЖАНИЕ

Биотехнология пищевых продуктов и биологически активных веществ

Арабова З. М., Алексанян И. Ю., Нугманов А. Х.-Х., Коннова О. И., Алексанян А. И., Яснов А. С. Определение рационального массового соотношения экстрагента и объекта экстрагирования и равновесных концентраций целевых компонентов в них.....	271
Вебер А. Л., Леонова С. А. Изменения биологической и пищевой ценности зерна гороха и фасоли в результате его биоактивации.....	282
Живлянцева Ю. В., Куранова Л. К., Гроховский В. А. Использование белкового гидролизата из вторичного рыбного сырья в составе микробиологических питательных сред.....	294
Карлов В. А., Гольбрайх А. А., Мезенова О. Я. Получение функциональных пищевых добавок при комплексной переработке фруктов и овощей пониженного качества с применением методов биотехнологии.....	302
Казакова В. С., Землякова Е. С. Оценка пищевой ценности сублимированных гидролизатов, полученных из кожи рыб.....	316
Шешнев К. В., Мартынов А. А., Селезнева Е. А., Буханцев О. В. Совершенствование технологии изготовления пищевых добавок, крахмалов и крахмалопродуктов с использованием инфракрасного излучения.....	328

Пищевые системы

Бурак Л. Ч. Использование методов нетермической обработки для обеспечения качества и безопасности рыбы и других гидробионтов. Обзор предметного поля.....	343
Лобосова Л. А., Малютина Т. Н., Желтоухова Е. Ю., Феофанова Т. М., Волкова В. О. Технология производства овсяного печенья с применением нетрадиционного растительного сырья.....	361
Пакурина А. П., Захарова Л. М., Пашина Л. Л., Бабухадия К. Р., Школьников П. Н. Влияние функциональных ингредиентов на качественные показатели творожного продукта и его хранимоспособность.....	373
Пономарева Е. И., Федорченко Н. Н., Лукина С. И., Алехина Н. Н., Никитина Л. А. Повышение пищевой ценности кексов и оценка их качества.....	385
Поснова Г. В., Иванова Н. Г. Разработка технологии хлебобулочного изделия питы с повышенной пищевой ценностью.....	400
Самохин А. В., Благонравова М. В., Спирина М. Е., Федулова Л. В. Сравнительный анализ физико-химических свойств сушеной продукции "КальмаКС" из кожи командорского и тихоокеанского кальмаров.....	412
Щетинский В. В., Шокина Ю. В., Никифоров-Никишин А. Л. Разработка технологического решения, направленного на улучшение потребительских свойств нового рыбного кулинарного изделия, обогащенного хондроитинсульфатом ската звездчатого.....	424

Процессы и аппараты пищевых производств

Зинуров В. Э., Харьков В. В., Абдуллина А. А., Мадышев И. Н. Численное исследование влияния геометрии элементов сепаратора для очистки пыли пищевых производств на его эффективность.....	437
Лукин С. А., Кайченев А. В., Ерещенко В. В., Селяков И. Ю. Модернизация малогабаритной сушильной установки для поиска оптимальных режимов с применением тепловизионного контроля.....	447
Похольченко В. А., Ершов А. М., Глухих Я. А., Мишанина Л. А. Научно-практические основы процессов обезвоживания головоногих моллюсков.....	458

CONTENTS

Biotechnology of food products and biologically active substances

Arabova Z. M., Aleksanyan I. Yu., Nugmanov A. H.-H., Konnova O. I., Aleksanyan A. I., Yasnov A. S. Determining the efficient mass ratio of the extractant and the object of extraction and the equilibrium concentrations of the target components in them.....	271
Veber A. L., Leonova S. A. Changes in the biological and nutritional value of pea and bean grains as a result of their bioactivation.....	282
Zhivliantceva Yu. V., Kuranova L. K., Grokhovsky V. A. The use of protein hydrolysate from fish waste as part of microbiological culture media.....	294
Karlov V. A., Golbraikh A. A., Mezenova O. Ya. Producing food supplements by complex processing of fruits and vegetables of reduced quality using biotechnology methods.....	302
Kazakova V. S., Zemlyakova E. S. Evaluation of the nutritional value of freeze-dried hydrolysates obtained from fish skin.....	316
Sheshnev K. V., Martynov A. A., Selezneva E. A., Buhancev O. V. Improving the technology for manufacturing food additives, starches and starch products using infrared radiation.....	328

Food systems

Burak L. Ch. Use of non-thermal treatment methods to ensure the quality and safety of fish and other hydrobionts. Overview of the subject field.....	343
Lobosova L. A., Malyutina T. N., Zheltoukhova E. Yu., Feofanova T. M., Volkova V. O. Technology for the production of oatmeal cookies using non-traditional plant raw materials.....	361
Pakusina A. P., Zakharova L. M., Pashina L. L., Babukhadiya K. R., Shkolnikov P. N. The effect of functional ingredients on the quality of the curd product and its storage capacity.....	373
Ponomareva E. I., Fedorchenko N. N., Lukina S. I., Alyokhina N. N., Nikitina L. A. Increasing the nutritional value of cupcakes and evaluating their quality.....	385
Posnova G. V., Ivanova N. G. Development of technology for pita bread with increased nutritional value.....	400
Samokhin A. V., Blagonravova M. V., Spirina M. E., Fedulova L. V. Comparative analysis of the physical and chemical properties of dried products "KalmaKS" from the skin of the Commander and Pacific squid.....	412
Shchetinsky V. V., Shokina Yu. V., Nikiforov-Nikishin A. L. Development of a technological solution aimed at improving the consumer properties of a new fish culinary product enriched with chondroitin sulfate of thorny skate.....	424

Processes and devices of food production

Zinurov V. E., Kharkov V. V., Abdullina A. A., Madyshev I. N. Numerical study of influencing geometry of separator elements for cleaning dust of food production on its efficiency.....	437
Lukin S. A., Kaychenov A. V., Ereschenko V. V., Selyakov I. Yu. Modernization of small-sized drying plant for searching optimal modes with thermovision control.....	447
Pokholchenko V. A., Ershov A. M., Glukhikh Ya. A., Mishanina L. A. Scientific and practical basis of cephalopods dehydration processes.....	458

УДК 639.21.539.215.2.639.381

Определение рационального массового соотношения экстрагента и объекта экстрагирования и равновесных концентраций целевых компонентов в них

З. М. Арабова, И. Ю. Александян, А. Х.-Х. Нугманов, О. И. Коннова*,
А. И. Александян, А. С. Яснгов

*Астраханский государственный технический университет, г. Астрахань, Россия;
e-mail: okonnova88@gmail.com, ORCID: <https://orcid.org/0009-0007-1691-1780>

Информация о статье Реферат

Поступила
в редакцию
23.05.2024;

получена
после доработки
9.07.2024;

принята
к публикации
19.07.2024

Ключевые слова:

пресноводные рыбы,
отходы
рыбопереработки,
лецитин, экстракция,
икорно-ястычный
комплекс,
концентрация целевых
компонентов,
массовое соотношение
экстрагента
и объекта экстракции

Для цитирования

Икорно-ястычный комплекс пресноводных рыб может широко использоваться для выработки различных пищевых продуктов, в том числе функциональной направленности. К числу основных технологических операций в технологии лецитина следует отнести процессы экстракции исходного икорного сырья и рафината, получаемого после проведения первой ступени избирательного экстрагирования. Цель исследования – выявление рационального массового соотношения экстрагента и сырья (модуль), от которого зависит эффективность экстракции, а также конечной концентрации извлекаемых веществ в полученном экстракте для определения ее текущего значения в процессе массопереноса с целью изучения кинетики экстрагирования. Объектом исследования послужил икорно-ястычный комплекс толстолобика, сазана, судака и сома, а также экстракт и рафинат из него. Обобщая опытные данные по выявлению рационального модуля, а также конечной концентрации извлекаемых веществ в полученных экстрактах, можно заключить, что для икры исследуемых видов рыб рациональным гидромодулем при ее экстракции ацетоном является соотношение сухая икра : экстрагент 1 : 4, а при ее экстракции этиловым спиртом – соотношение сухая икра : экстрагент 1 : 8. Если массовое соотношение отнести к свежей икре изучаемых видов рыб, то рациональным показателем при ее экстракции ацетоном является соотношение свежая икра : экстрагент 1 : 1,5, а при ее экстракции этиловым спиртом является соотношение свежая икра : экстрагент 1 : 3. Средняя конечная концентрации извлекаемых веществ из сухой икры изучаемых видов рыб в получаемых экстрактах, если в качестве растворителя применялся ацетон при рациональных условиях проведения массопереноса, соответствует значению 1,3 %, а если в качестве растворителя применялся этиловый спирт при рациональных условиях проведения массопереноса, соответствует значению 1,0 %.

Арабова З. М. и др. Определение рационального массового соотношения экстрагента и объекта экстрагирования и равновесных концентраций целевых компонентов в них. Вестник МГТУ. 2024. Т. 27, № 3. С. 271–281. DOI: <https://doi.org/10.21443/1560-9278-2024-27-3-271-281>.

Determining the efficient mass ratio of the extractant and the object of extraction and the equilibrium concentrations of the target components in them

Zarema M. Arabova, Igor Yu. Aleksanyan, Albert H.-H. Nugmanov,
Olga I. Konnova*, Artur I. Aleksanyan, Andrei S. Yasnov

*Astrakhan State Technical University, Astrakhan, Russia;
e-mail: okonnova88@gmail.com, ORCID: <https://orcid.org/0009-0007-1691-1780>

Article info

Received
23.05.2024;

received
in revised form
9.07.2024;

accepted
19.07.2024

Key words:

freshwater fish,
fish processing wastes,
lecithin, extraction,
caviar-bile complex,
concentration of target
components,
mass ratio of extractant
and extraction object

For citation

Abstract

The caviar and lecithin complex of freshwater fish can be widely used for the production of various food products, including those of functional orientation. The main technological operations in lecithin technology should include the processes of extraction of the initial caviar raw material and raffinate obtained after the first stage of selective extraction. The purpose of the study is to identify the rational mass ratio of extractant and raw material (module), on which the extraction efficiency depends, as well as the final concentration of extracted substances in the extract to determine its current value in the process of mass transfer to study the kinetics of extraction. The object of the study is the caviar-anchovy complex of fathead carp, carp, pikeperch and catfish, as well as the extract and raffinate from it. Summarizing the experimental data on revealing the rational module, as well as the final concentration of extracted substances in the extracts obtained, we can conclude that for caviar of the fish species under study, the rational hydromodule for its extraction with acetone is the ratio of dry caviar : extractant 1 : 4, and for its extraction with ethyl alcohol is the ratio of dry caviar : extractant 1 : 8. If the mass ratio refers to the fresh caviar of the studied fish species, then its rational indicator at its extraction with acetone is the ratio of fresh caviar : extractant 1 : 1.5, and at its extraction with ethyl alcohol is the ratio of fresh caviar : extractant 1 : 3. The average final concentration of extracted substances from dry caviar of the studied fish species in the extracts obtained, if acetone was used as a solvent under rational conditions of mass transfer, corresponds to the value of 1.3 %, and if ethyl alcohol was used as a solvent under rational conditions of mass transfer, corresponds to the value of 1.0 %.

Arabova, Z. M. et al. 2024. Determining the efficient mass ratio of the extractant and the object of extraction and the equilibrium concentrations of the target components in them. *Vestnik of MSTU*, 27(3), pp. 271–281. (In Russ.) DOI: <https://doi.org/10.21443/1560-9278-2024-27-3-271-281>.

Введение

Неориентированная реализация отходов материалов переработки рыбного сырья ставит ряд проблем в рыбной отрасли. Ежедневно при операциях его обработки скапливаются тонны отходов материалов при выработке пресервов, филе, фаршевой, консервированной и иных типов рыбных продуктов (Петрова, 2012). Целесообразность решения задач комплексной реализации водных ресурсов не вызывает сомнений, поскольку она позволяет не только снизить стоимость выработки традиционных типов обозначенных продуктов, но и существенно увеличить их ассортимент (Ярочкин, 1997; Жила и др., 2023; Макаров и др., 2019).

Очевидно, что вторичное сырье, являющееся результатом промышленной переработки частиковых видов рыб, в частности, икорно-ястычный комплекс (ИЯК), может широко использоваться для выработки различных пищевых продуктов, в том числе и функциональной направленности (Петров, 2010; Широнова и др., 2015).

Известно, что к числу основных технологических операций, сложных и дорогостоящих по своей организации и аппаратному обеспечению, отвечающих за качество и себестоимость конечной продукции, следует отнести, помимо сушки (Гущина и др., 2016), замораживания и дефростации, процессы экстракции исходного икорного сырья и рафината, получаемого после проведения первой ступени избирательного экстрагирования (Полецук и др., 2024).

Эффективность операции экстрагирования, кроме давления и температуры, рациональные значения которых были найдены ранее, зависит от массового соотношения экстрагента и сырья (Евсеева, 2021; Андреева, 2021).

Цель исследования – выявление рационального массового соотношения экстрагента и сырья (модуль), а также конечной концентрации извлекаемых веществ в полученном экстракте для определения ее текущего значения в процессе массопереноса.

Материалы и методы

Объектом исследования послужил ИЯК толстолобика, сазана, судака и сома.

Рациональное соотношение масс экстрагента и объекта экстрагирования определялось эмпирическим путем, где в качестве целевого критерия была выбрана максимально приемлемая величина выхода экстрактивных веществ, полученная в ходе эксперимента. Опыт осуществлялся в две стадии, на первой из которых дефростированный или обезвоженный до влажности 10 % ИЯК при конвективном энергоподводе подвергают при перемешивании последовательной экстракции ацетоном при 40 °С и этиловым спиртом при 60 °С 24 часа, варьируя модуль, поскольку данной продолжительности операции с лихвой хватает для перевода модуля в равновесные условия, после чего рафинат отводят от экстракта фильтрацией. На второй стадии из экстрактов в резервуарах из силикона или керамики отводят экстрагент в сушильном шкафу при 50 °С и конвективном подводе тепловой энергии, вырабатывая обезвоженный экстракт, по массе которого определяют удельный съем экстрактивных компонентов из ИЯК.

С целью последующего анализа модуля с этиловым спиртом вырабатывался икорный рафинат, т. е. осадок, оставшийся после получения ацетонового экстракта при рациональных условиях проведения массообменного процесса. Отметим, что для заготовки икорного рафината можно использовать как размороженную, так и сухую икру, так как выход объекта экстрагирования по отношению к нативной икре в том или ином случае примерно одинаков.

Выход целевых веществ по отношению к нативной икре B , % при использовании сухой икры рассчитывался по следующей формуле:

$$B = C_x \left(\left(\frac{100 - W}{100} \right) / 0,9 \right), \quad (1)$$

где W – усредненная влажность икорного сырья, % ($W = 65,6$ %); C_x – рациональный выход экстрактивных веществ из сухого икорного сырья влажностью 10 %.

Для оценки полноты извлечения лецитина из икры исследуемых видов рыб экстрагированием необходимо определиться с его содержанием в исходном сырье. Обзор литературных источников не дал нужной информации, поэтому содержание лецитина в исходном рыбном сырье определялось, опираясь на определение доли фосфора в липидном (липоидном) экстракте¹ (Keiutis, 1975). Для этого применяют ряд методик из-за минерализации липидов. Отмечается сложность минерализации проб с малой долей фосфолипидов по отношению к триглицеридам. Для интенсификации минерализации применяют кислоту хлорную, но с увеличением продолжительности данной процедуры возможно применение серной кислоты. Значения доли липидного фосфора умножают на усредненный лецитиновый коэффициент 25 и определяют общее содержание фосфолипидов.

Содержание фосфора в исследуемом сырье определялось по методике, подробно описанной в работах (Способ..., 1998; Способ..., 1997; Способ..., 2024), согласно которым определяют долю фосфолипидов

¹ Химический состав пищевых продуктов. Кн. 1: Справочные таблицы содержания основных пищевых веществ и энергетической ценности пищевых продуктов / под ред. Скурихина И. М., Волгарева М. Н. М.: Агропромиздат, 1987. 224 с.

в маслах растительной природы, поэтому из икры была выделена липидная фракция, в которой необходимо выявить процентное содержание фосфора (Лалин и др., 2021).

Экспериментальные исследования проводились по следующему алгоритму. В мерную пробирку вместимостью 15 см³ помещают 1 ± 0,01 г (*m*) рыбьего гидратированного жира. В нее же вливают 1 см³ спиртоэфирного раствора, что отвечает долям 1 : 1 и 1,5 см³ 10 М сернокислого раствора (*V*). Пробирку закупоривают и 1 мин интенсивно встряхивают.

После фазового расслоения пробирку откупоривают и пипеткой отводят 0,3 см³ водно-спиртового раствора (*V*₁). Аликвотную составляющую отводят в мерную пробирку, куда вносят 0,3 см³ 2,5%-го водного раствора молибденовокислого аммония, 0,5 см³ 0,25%-го водного раствора гидразинсульфата и дистиллированную водную среду до метки 5 см³. В течение 10 мин повышают температуру композиции на кипящей водяной бане, охлаждают и определяют ее оптическую плотность в кювете толщиной 1 см при длине волны 670 нм по отношению к контрольной пробе, которая состоит из 0,3 см³ 10 М раствора серной кислоты, 0,3 см³ 2,5%-го водного раствора молибденовокислого аммония, 0,5 мл 0,25%-го водного раствора гидразинсульфата и дистиллированной воды, добавляемой до объема 5 см³.

Массовое содержание лецитина в ИЯК *F* (%) определяют по формуле

$$F = \frac{K_{гр} \cdot D}{K_l \cdot m} \cdot \frac{V}{V_1} \cdot 100 \%, \quad (2)$$

где *K*_{гр} – градуировочный показатель для неизменного объема колориметрируемого раствора, г (*K*_{гр} = 0,43 г); *K*_l – показатель для пересчета доли фосфора на фосфолипиды *K*_l = 26,03; *D* – оптическая плотность колориметрируемого раствора при длине волны 670 нм; *m* – масса образца липидной фракции, г; *V* – объем 10 М раствора H₂SO₄ для экстракции, мл; *V*₁ – аликвотная составляющая спиртоводной кислой среды для проведения колориметрической реакции, мл.

Результаты и обсуждение

В табл. 1–4 приведены опытные данные по выявлению рационального модуля для высушенной икры изучаемых видов рыбы до влажности 10 %, подвергаемой экстрагированию ацетоном.

Таблица 1. Опытные данные по нахождению рационального модуля ацетона и обезвоженного ИЯК толстолобика

Table 1. Experimental data on finding the rational modulus of acetone and dehydrated CYC of fathead minnows

№	Соотношение масс ИЯК и ацетона, г/г	Масса пробы экстракта, г	Масса сухого остатка в пробе, г	Доля сухого остатка в экстракте, %	Удельный съем, %
1	6/12	11,135	0,185	1,66	3,32
2	6/18	12,265	0,170	1,39	4,17
3	6/24	13,071	0,167	1,28	5,12
4	6/30	13,110	0,135	1,03	5,15
5	5/30	13,320	0,113	0,85	5,10

Таблица 2. Экспериментальные данные по определению рационального модуля упругости ацетона и обезвоженного ИЯК карпа

Table 2. Experimental data on finding the rational modulus of acetone and dehydrated carp CYC

№	Соотношение масс ИЯК и ацетона, г/г	Масса пробы экстракта, г	Масса сухого остатка в пробе, г	Доля сухого остатка в экстракте, %	Удельный съем, %
1	6/12	10,983	0,205	1,87	3,74
2	6/18	13,144	0,214	1,63	4,89
3	6/24	13,653	0,193	1,41	5,64
4	6/30	12,974	0,144	1,11	5,55
5	5/30	13,128	0,125	0,95	5,70

Таблица 3. Опытные данные по нахождению рационального модуля ацетона и обезвоженного ИЯК судака

Table 3. Experimental data on finding the rational modulus of acetone and dehydrated pikeperch CYC

№	Соотношение масс ИЯК и ацетона, г/г	Масса пробы экстракта, г	Масса сухого остатка в пробе, г	Доля сухого остатка в экстракте, %	Удельный съем, %
1	6/12	11,232	0,161	1,43	2,86
2	6/18	12,987	0,162	1,25	3,75
3	6/24	12,835	0,155	1,21	4,84
4	6/30	13,144	0,130	0,99	4,95
5	5/30	13,659	0,109	0,80	4,80

Таблица 4. Опытные данные по нахождению рационального модуля ацетона и обезвоженного ИЯК сома
 Table 4. Experimental data on finding the rational modulus of acetone and dehydrated catfish CYC

№	Соотношение масс ИЯК и ацетона, г/г	Масса пробы экстракта, г	Масса сухого остатка в пробе, г	Доля сухого остатка в экстракте, %	Удельный съём, %
1	6/12	10,121	0,178	1,76	3,51
2	6/18	13,765	0,197	1,43	4,29
3	6/24	12,238	0,163	1,33	5,32
4	6/30	12,492	0,134	1,07	5,35
5	5/30	13,458	0,117	0,87	5,20

Опытные данные по выявлению рационального модуля с обезвоженным сырьем, которые для лучшей наглядности представлены в виде гистограмм (рис. 1 и 2), показали, что третий вариант, где на одну массовую долю сухой икры приходится четыре массовых доли экстрагента, максимально приемлем для экстракции ацетонорастворимых составляющих из обезвоженного ИЯК влажностью 10 %. Вместе с тем фактически больший выход наблюдается при соотношении 1 : 5, но учитывая, что разница при этом крайне незначительна, то, с точки зрения экономии экстрагента и, как следствие, энергозатрат на последующие операции концентрирования и сушки, резонно рекомендовать соотношение 1 : 4.

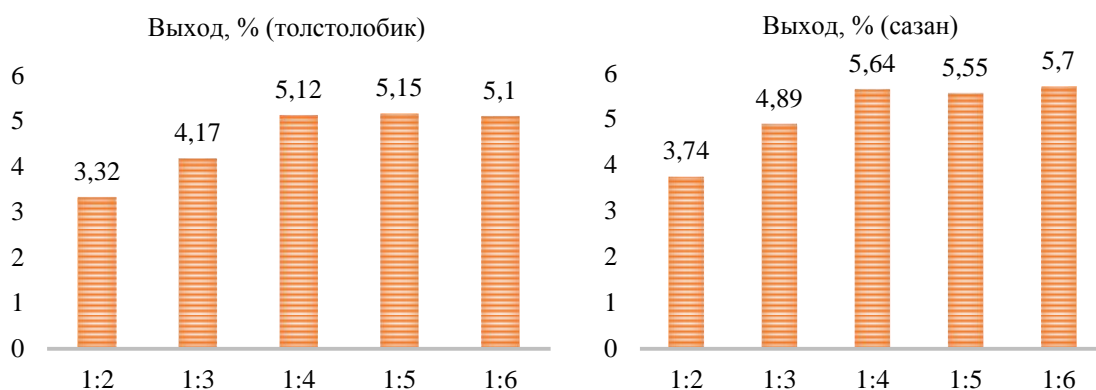


Рис. 1. Графическая интерпретация опытных данных по рациональному модулю для толстолобика и сазана

Fig. 1. Graphical interpretation of experimental data on rational module for fathead carp and carp

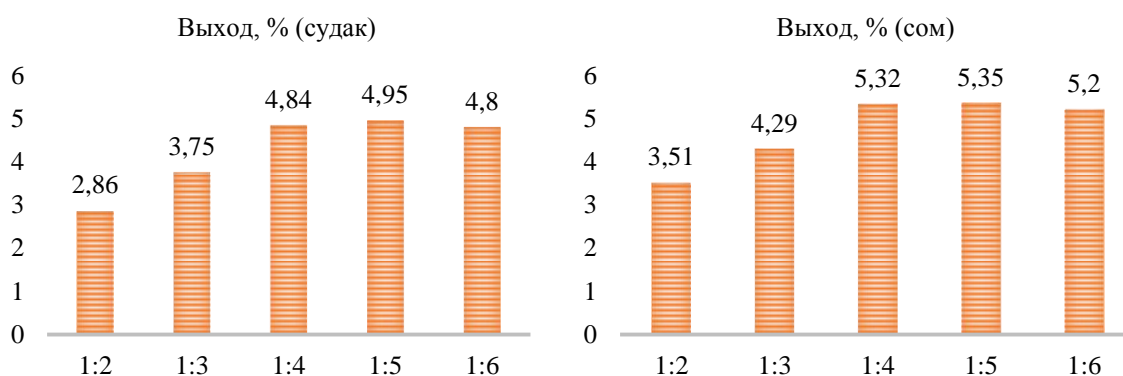


Рис. 2. Графическая интерпретация опытных данных по рациональному модулю для судака и сома

Fig. 2. Graphical interpretation of experimental data on rational module for pikeperch and catfish

В табл. 5–8 приведены опытные данные по выявлению рационального модуля для икры изучаемых видов рыбы, прошедшей этап дефростации, со средней влажностью 65,6 %, подвергаемой экстрагированию ацетоном.

Таблица 5. Опытные данные по нахождению рационального модуля ацетона и размороженного ИЯК толстолобика

Table 5. Experimental data on finding the rational modulus of acetone and thawed CYC of fathead minnow

№	Соотношение масс ИЯК и ацетона, г/г	Масса пробы экстракта, г	Масса сухого остатка в пробе, г	Доля сухого остатка в экстракте, %	Удельный съём, %
1	15,7/18	12,654	0,120	0,95	1,69
2	15,7/24	11,892	0,108	0,91	1,97
3	15,7/30	13,356	0,103	0,77	1,96
4	13,1/30	12,908	0,087	0,67	1,95

Таблица 6. Опытные данные по нахождению рационального модуля ацетона и размороженного ИЯК сазана

Table 6. Experimental data on finding the rational modulus of acetone and thawed CYC of carp

№	Соотношение масс ИЯК и ацетона, г/г	Масса пробы экстракта, г	Масса сухого остатка в пробе, г	Доля сухого остатка в экстракте, %	Удельный съём, %
1	15,7/18	11,664	0,122	1,05	1,87
2	15,7/24	12,902	0,128	0,99	2,14
3	15,7/30	11,987	0,099	0,83	2,11
4	13,1/30	13,098	0,098	0,75	2,17

Следует отметить, что в табл. 5–8 представленные соотношения в вариантах 1–4 соответствуют соотношениям в табл. 1–4 в вариантах 2–5, т. е. 1 к 3; 1 к 4; 1 к 5 и 1 к 6, так как на первом этапе исследования в качестве сырья использовалась сухая икра. В связи с чем был проведен перерасчет соотношения экстрагента и размороженного икорного сырья с учетом его влажности на сухие вещества. Также необходимо отметить, что для расчета выхода, в отличие от табл. 1–4, в которых этот показатель высчитывался из условия, что масса получаемого экстракта приравнивалась к количеству вводимого ацетона в систему "сырье – экстрагент", в табл. 5–8 масса получаемого экстракта принималась как сумма вводимого ацетона и влаги, находящейся в сырье, что связано с переходом в экстракт не только ацетон-растворимых компонентов, но и непосредственно воды, которая прекрасно растворяется в ацетоне.

Таблица 7. Опытные данные по нахождению рационального модуля ацетона и размороженного ИЯК судака

Table 7. Experimental data on finding the rational modulus of acetone and thawed pikeperch CYC

№	Соотношение масс ИЯК и ацетона, г/г	Масса пробы экстракта, г	Масса сухого остатка в пробе, г	Доля сухого остатка в экстракте, %	Удельный съём, %
1	15,7/18	11,876	0,099	0,83	1,48
2	15,7/24	12,843	0,104	0,81	1,75
3	15,7/30	12,312	0,086	0,70	1,78
4	13,1/30	12,705	0,080	0,63	1,82

Таблица 8. Опытные данные по нахождению рационального модуля ацетона и размороженного ИЯК сома

Table 8. Experimental data on finding the rational modulus of acetone and thawed catfish CYC

№	Соотношение масс ИЯК и ацетона, г/г	Масса пробы экстракта, г	Масса сухого остатка в пробе, г	Доля сухого остатка в экстракте, %	Удельный съём, %
1	15,7/18	12,004	0,113	0,94	1,68
2	15,7/24	13,344	0,123	0,92	1,99
3	15,7/30	12,114	0,097	0,80	2,03
4	13,1/30	12,532	0,085	0,68	1,97

Опытные данные по выявлению рационального модуля с ИЯК, прошедшем этап дефростации, со средней влажностью 65,6 %, которые для лучшей наглядности представлены в виде гистограмм (рис. 3 и 4), показали, что второй вариант, где на одну массовую долю нативной икры приходится полторы массовых доли экстрагента, максимально приемлем для экстракции растворимых в ацетоне компонентов. Адекватность полученных результатов проверялась методами статистической обработки экспериментальных данных, при этом относительная ошибка не превышала 3 %. Следует отметить, что второй вариант в табл. 5–8

соответствует третьему варианту в табл. 1–4, где на одну массовую долю сухой икры приходится четыре массовых доли экстрагента.

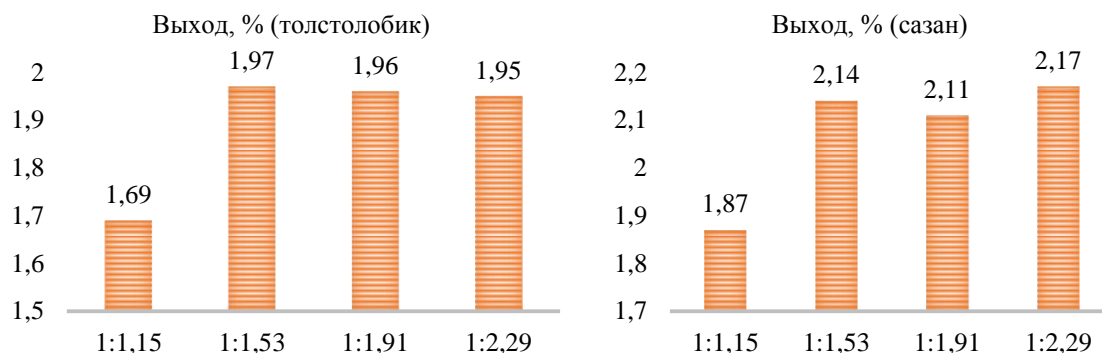


Рис. 3. Графическое представление результатов исследования по выбору рационального соотношения растворителя и икорного сырья (толстолобик и сазан)
 Fig. 3. Graphical representation of the results of the study on the selection of rational ratio of solvent and caviar raw material (fathead carp and carp)

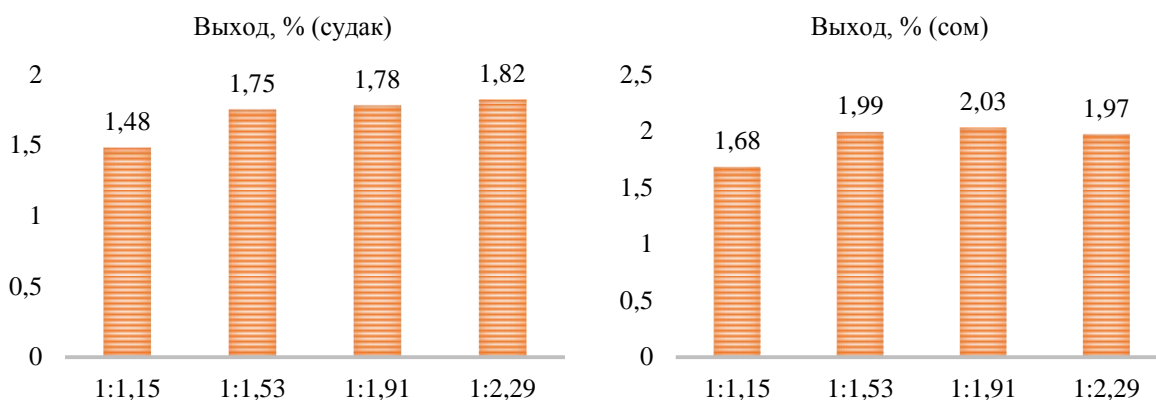


Рис. 4. Графическое представление результатов исследования по выбору рационального соотношения растворителя и икорного сырья (судак и сом)
 Fig. 4. Graphical representation of the results of the study on selection of rational ratio of solvent and caviar raw material (pikeperch and catfish)

Сравнительная оценка полученных результатов представлена в табл. 9.

Таблица 9. Результат сравнительного анализа выработки икорного рафината
 Table 9. Result of comparative analysis of caviar raffinate production

Наименование	Выход целевых веществ по отношению к нативной икре, %	
	Использование в качестве сырья сухой икры влажностью 10 %	Использование в качестве сырья размороженной икры
Икра толстолобика	1,96	1,97
Икра сазана	2,16	2,14
Икра судака	1,85	1,75
Икра сома	2,03	1,99

В табл. 10–13 приведены опытные данные по выявлению рационального модуля с икорным рафинатом изучаемых видов рыбы, подвергаемым экстрагированию этиловым спиртом. Следует отметить, что в табл. 10–13 представленные соотношения практически соответствуют соотношениям в табл. 1–4, так как икорный рафинат представляет собой ту же самую сухую икру, только без растворимых в ацетоне компонентов, поэтому впоследствии количество экстрагента можно отнести к количеству используемой в технологии фракционированного лецитина сухой икры.

Таблица 10. Опытные данные по нахождению рационального модуля этилового спирта и рафината ИЯК толстолобика

Table 10. Experimental data on finding the rational modulus of ethyl alcohol and raffinate of thickhead salmon CYC

№	Соотношение масс ИЯК и спирта, г/г	Масса пробы экстракта, г	Масса сухого остатка в пробе, г	Доля сухого остатка в экстракте, %	Удельный съём, %
1	6/18	10,874	0,151	1,39	4,17
2	6/24	11,212	0,142	1,27	5,08
3	6/30	11,098	0,129	1,16	5,80
4	5/30	11,238	0,126	1,12	6,72
5	5/35	11,711	0,125	1,07	7,50
6	5/40	10,923	0,113	1,03	8,24
7	5/45	11,405	0,103	0,90	8,10
8	5/50	12,183	0,101	0,83	8,30

Таблица 11. Опытные данные по нахождению рационального модуля этилового спирта и рафината ИЯК сазана

Table 11. Experimental data on finding the rational modulus of ethyl alcohol and raffinate of carp CYC

№	Соотношение масс ИЯК и спирта, г/г	Масса пробы экстракта, г	Масса сухого остатка в пробе, г	Доля сухого остатка в экстракте, %	Удельный съём, %
1	6/18	11,223	0,158	1,41	4,23
2	6/24	11,563	0,149	1,29	5,17
3	6/30	12,311	0,148	1,20	6,00
4	5/30	11,703	0,133	1,14	6,84
5	5/35	11,604	0,125	1,08	7,56
6	5/40	12,133	0,126	1,04	8,32
7	5/45	11,521	0,107	0,93	8,38
8	5/50	11,882	0,099	0,83	8,30

Таблица 12. Опытные данные по нахождению рационального модуля этилового спирта и рафината ИЯК судака

Table 12. Experimental data on finding the rational modulus of ethyl alcohol and raffinate of pikeperch CYC

№	Соотношение масс ИЯК и спирта, г/г	Масса пробы экстракта, г	Масса сухого остатка в пробе, г	Доля сухого остатка в экстракте, %	Удельный съём, %
1	6/18	11,102	0,144	1,30	3,90
2	6/24	10,954	0,129	1,18	4,72
3	6/30	12,098	0,132	1,09	5,45
4	5/30	12,239	0,124	1,01	6,06
5	5/35	12,804	0,122	0,95	6,65
6	5/40	12,365	0,110	0,89	7,12
7	5/45	12,712	0,100	0,79	7,11
8	5/50	11,872	0,085	0,72	7,20

Таблица 13. Опытные данные по нахождению рационального модуля этилового спирта и рафината ИЯК сома

Table 13. Experimental data on finding the rational modulus of ethyl alcohol and NRC raffinate CYC of catfish

№	Соотношение масс ИЯК и спирта, г/г	Масса пробы экстракта, г	Масса сухого остатка в пробе, г	Доля сухого остатка в экстракте, %	Удельный съём, %
1	6/18	11,893	0,162	1,36	4,08
2	6/24	12,211	0,155	1,27	5,08
3	6/30	12,764	0,152	1,19	5,95
4	5/30	12,308	0,138	1,12	6,72
5	5/35	11,903	0,128	1,08	7,56
6	5/40	12,321	0,131	1,06	8,48
7	5/45	12,482	0,115	0,92	8,28
8	5/50	12,702	0,107	0,84	8,40

Для лучшей наглядности на рис. 5 и 6 представлены результаты опытов по определению рационального модуля с икорным рафинатом в форме гистограмм.

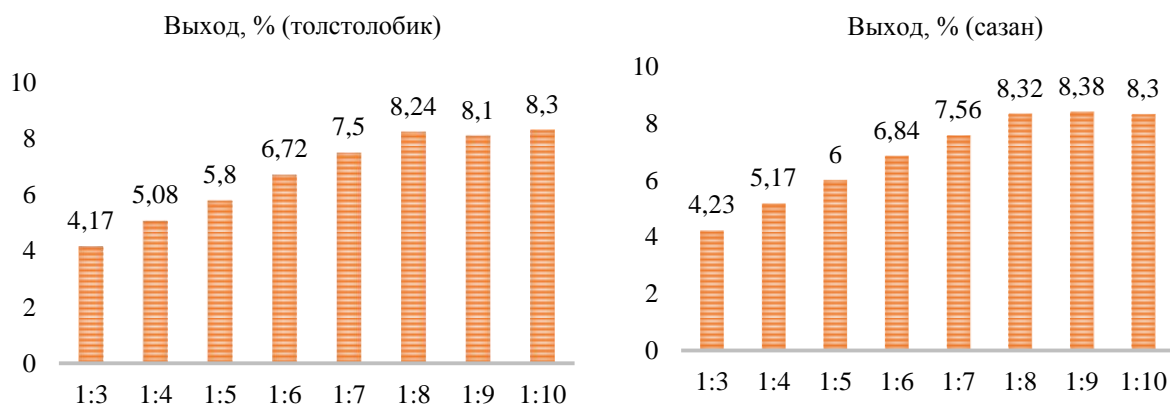


Рис. 5. Графическое представление опытных данных по выбору рационального модуля с икорным рафинатом (толстолобик и сазан)

Fig. 5. Graphical representation of experimental data on the selection of rational module with caviar raffinate (capelin and carp)

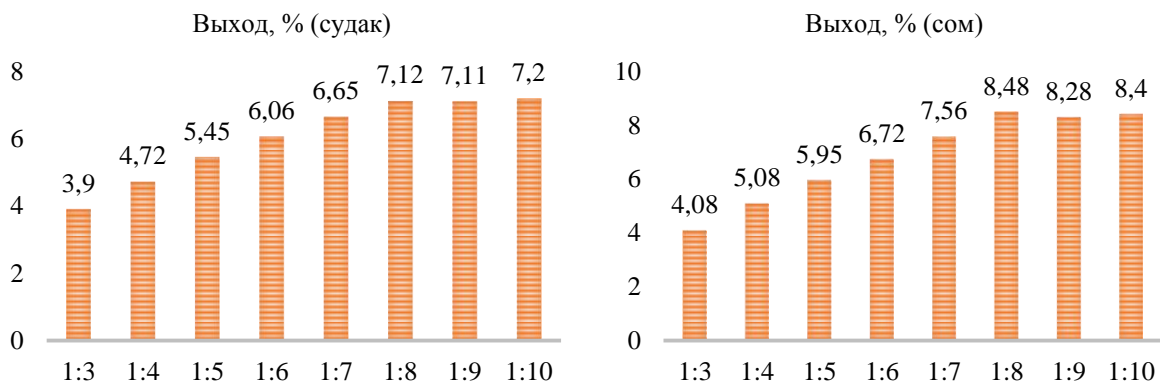


Рис. 6. Графическое представление опытных данных по выбору рационального модуля с икорным рафинатом (судак и сом)

Fig. 6. Graphical representation of experimental data on the selection of rational module with caviar raffinate (pikeperch and catfish)

Опытные данные по выявлению рационального модуля с икорным рафинатом, прошедшим этап предварительного экстрагирования уксусом (табл. 10–13), показали, что шестой вариант, где на одну массовую долю рафината приходится восемь массовых долей экстрагента, максимально приемлем для экстракции растворимых в этиловом спирте компонентов.

Опытные данные по определению массовой доли лецитина в исследуемом рыбном икорном сырье представлены в табл. 14.

Таблица 14. Массовая доля липидной и фосфолипидной фракций и опытные данные для расчета содержания лецитина в икорном сырье
Table 14. Mass fraction of lipid and phospholipid fractions and experimental data for calculation of lecithin content in caviar raw material

Вид сырья	Массовая доля, % от общей массы свежей икры		Масса пробы липидной фракции, г	Оптическая плотность раствора	Объем 10 М раствора H ₂ SO ₄ , мл	Аликвотная составляющая спиртоводной кислой среды, мл
	жира	лецитина				
Средние значения						
Икра толстолобика	11,40	6,14	1,11	0,825	1,5	0,3

Икра сазана	9,86	5,82	1,16	0,817		
Икра судака	5,42	4,36	1,27	0,670		
Икра сома	9,12	5,19	1,12	0,704		

Сравнительная оценка соотношения количества лецитина в исследуемой икре и его количества в результате экстрагирования показала, что при данных условиях проведения массообменного процесса извлекается от 51 до 62 % от общей массы целевого компонента (табл. 15).

Таблица 15. Процент извлечения лецитина из ИЯК по предложенной технологии
Table 15. Percentage of lecithin extraction from CYC by the proposed technology

Вид сырья	Количество лецитина в 1 000 г свежей икры, г	Масса выделенного лецитина по рекомендуемой технологии в пересчете на 1 000 г свежей икры, г	Выделенная доля, %
Икра толстолобика	61,4	31,48	51,27
Икра сазана	58,2	31,78	54,60
Икра судака	43,6	27,20	62,38
Икра сома	51,9	32,39	62,41

Заключение

Таким образом, обобщая опытные данные, можно заключить, что для икры исследуемых видов рыб рациональное соотношение сухая икра : экстрагент – 1 : 4, а при ее экстракции этиловым спиртом – 1 : 8. Если соотнести массы экстрагента и свежей икры, то при экстракции ацетоном является рациональным соотношение свежая икра : экстрагент 1 : 1,5, а при ее экстракции этиловым спиртом – 1 : 3. При использовании ацетона средняя конечная концентрация извлекаемых из сухой икры веществ в экстрактах при рациональных режимах экстракции соответствует значению 1,3 %, а в случае применения этилового спирта это значение соответствует 1,0 %.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Библиографический список

- Андреева Е. В. Научное обоснование процессов комплексной сушильно-экстракционной обработки баклажанной кожуры : дис. ... канд. техн. наук. Астрахань, 2021. 211 с.
- Гущина Д. А., Красноштанова А. А. Получение белковой фракции из рыбной икры // Успехи в химии и химической технологии. 2016. Т. 30, № 9(178). С. 42–43. EDN: XEBMEZ.
- Евсеева С. С. Разработка способа получения экстракта из тутовых плодов и совершенствование процесса его сушки : дис. ... канд. техн. наук. Астрахань, 2021. 202 с.
- Жила Н. О., Волков В. В., Мезенова О. Я., Киселев Е. Г. [и др.]. Отходы рыбопереработки – перспективный субстрат для синтеза целевых продуктов биотехнологии // Журнал Сибирского федерального университета. Сер. Биология. 2023. Т. 16, № 3. С. 386–397. EDN: HORLYA.
- Кейтс М. Техника липидологии: выделение, анализ и идентификация липидов. М. : Мир, 1975. 322 с.
- Лапин А. А., Зеленков В. Н., Золотарев К. В., Михайлов А. Н. [и др.]. Суммарная антиоксидантная активность продуктов экстракции мышц и икры щуки (*Esox lucius*) // Бутлеровские сообщения. 2021. Т. 65, № 1. С. 114–119. DOI: 10.37952/ROI-jbc-01/21-65-1-114. EDN: QNHJNY.
- Макаров А. В., Максименко Ю. А., Александян И. Ю., Дяченко Э. П. Разработка рациональных режимов сушки при производстве желатина на основе отходов рыбопереработки // Технологии пищевой и перерабатывающей промышленности АПК – продукты здорового питания. 2019. № 2(28). С. 56–63. EDN: GTGSNU.
- Петров Б. Ф. Получение концентратов жирных кислот из жировых отходов рыбопереработки и низкосортных рыбных жиров // Рыбпром: технологии и оборудование для переработки водных биоресурсов. 2010. № 4. С. 79–81. EDN: NCPYMD.
- Петрова И. Б., Клименко А. И. Комплексная переработка отходов рыбоперерабатывающих производств: обзор // Молодой ученый. 2012. № 9(44). С. 61–63. EDN: PFVSJB.
- Полещук Д. В., Подленный Л. Ю., Тунгусов Н. Г., Горячева Е. Д. Исследование жировой фракции вторичного сырья икорного производства // Пищевая промышленность. 2024. № 4. С. 67–70. DOI: <https://doi.org/10.52653/ppi.2024.4.4.013>. EDN: XJBKBD.
- Способ количественного определения фосфора в растительных маслах : пат. 2103681 Рос. Федерация / Н. А. Калашева, В. С. Ковалев, Е. М. Коневец, Ю. С. Тульский [и др.] ; № 94038314/13 ; заявл. 27.09.1994 ; опубл. 27.01.1998.

- Способ получения комплекса фосфолипидов : пат. 2071337 Рос. Федерация / С. А. Любченко, Н. А.-О. Исмаилов ; № 93 93040879 ; заявл. 12.08.1993 ; опубл. 10.01.1997.
- Способ получения фракционного лецитина : пат. 2812352 Рос. Федерация / А. Х.-Х. Нугманов, З. М. Арабова, О. И. Коннова, И. А. Бакин [и др.] ; № 2023123305 ; заявл. 07.09.2023 ; опубл. 30.01.2024, Бюл. № 4.
- Широнина А. Ю., Деркач С. Р., Новиков В. Ю. Коллоидно-химические свойства ферментативных белковых гидролизатов из отходов рыбопереработки // Современные эколого-биологические и химические исследования, техника и технология производств : материалы междунар. науч.-практ. конф., Мурманск, 7 апреля 2015 г. : в 2-х ч. Ч. 2. С. 271–274. EDN: VEZVDZ.
- Ярочкин А. П., Чупикова Е. С., Кузнецов Ю. Н., Градов Н. А. Биотехнологическая утилизация белоксодержащих отходов рыбопереработки // Известия ТИПРО. 1997. Т. 120. С. 44–48. EDN: BBPMUS.

References

- Andreeva, E. V. 2021. Scientific substantiation of the processes of complex drying-extraction processing of eggplant peel. Ph.D. Thesis. Astrakhan. (In Russ.)
- Gushchina, D. A., Krasnoshtanova, A. A. 2016. Obtaining protein association from fish caviar. *Uspekhi v Khimii i Khimicheskoi Tekhnologii*, 30(9(178)), pp. 42–43. EDN: XEBMEZ. (In Russ.)
- Evseeva, S. S. 2021. Development of a method for obtaining an extract from mulberry fruits and improving the process of drying it. Ph.D. Thesis. Astrakhan. (In Russ.)
- Zhila, N. O., Volkov, V. V., Mezenova, O. Ya., Kiselev, E. G. et al. 2023. Fish processing waste is a promising substrate for the synthesis of target biotechnology products. *Journal of Siberian Federal University. Biology*, 16(3), pp. 386–397. EDN: HORLYA. (In Russ.)
- Kates, M. 1975. Lipidology technique: Isolation, analysis and identification of lipids. Moscow. (In Russ.)
- Lapin, A. A., Zelenkov, V. N., Zolotarev, K. V., Mikhailov, A. N. et al. 2021. Total antioxidant activity of extraction products of pike muscles and caviar (*Esox lucius*). *Butlerovskie Chteniya*, 65(1), pp. 114–119. DOI: 10.37952/ROI-jbc-01/21-65-1-114. EDN: QHHJNY. (In Russ.)
- Makarov, A. V., Maksimenko, Yu. A., Aleksanyan, I. Yu., Dyachenko, E. P. 2019. Development of rational drying modes for the production of gelatin based on fish processing waste. *Technologies of the Food and Processing Industry of the AGRO-Industrial Complex – Healthy Food Products*, 2(28), pp. 56–63. EDN: GTGSNU. (In Russ.)
- Petrov, B. F. 2010. Obtaining fatty acid concentrates from fatty waste from fish processing and low-grade fish oils. *Rybprom: Technologies and equipment for processing marine biological resources*, 4, pp. 79–81. EDN: NCPYMD. (In Russ.)
- Petrova, I. B., Klimenko, A. I. 2012. Integrated processing of waste from fish processing products: Review. *Molodoi Uchenyi*, 9(44), pp. 61–63. EDN: PFVSJB. (In Russ.)
- Poleshchuk, D. V., Podlenny, L. Yu., Tungusov, N. G., Goryacheva, E. D. 2024. Study of strength based on secondary raw materials from caviar production. *Food Processing Industry*, 4, pp. 67–70. DOI: <https://doi.org/10.52653/ppi.2024.4.4.013>. EDN: XJBKBD. (In Russ.)
- Kalashcheva, N. A., Kovalev, V. S., Konevets, E. M. 1998. Possibility of quantitative determination of phosphorus in vegetable oils, Russian Federation, Pat. 2103681. (In Russ.)
- Lyubchenko, S. A., Ismailov, N. A. 1997. Method for obtaining phospholipid complexes, Russian Federation, Pat. 2071337. (In Russ.)
- Nugmanov, A. Kh. Kh., Arabova, Z. M., Konnova, O. I., Bakin, I. A. et al. Russian State Agrarian University – Moscow Agricultural Academy named after K. A. Timiryazev. 2024. Method for producing fractional lecithin, Russian Federation, Pat. 2812352. (In Russ.)
- Shironina, A. Yu., Derkach, S. R., Novikov, V. Yu. 2015. Colloid-chemical properties of enzymatic protein hydrolysates from fish processing waste. Proceedings of the intern. scient. and pract. conf. *Modern environmental, biological and chemical research, equipment and production technologies*, in 2 parts, Murmansk, 7 April, 2015. Part 2, pp. 271–274. EDN: VEZVDZ. (In Russ.)
- Yarochkin, A. P., Chupikova, E. S., Kuznetsov, Yu. N., Gradov, N. A. 1997. Biotechnological utilization of protein-containing fish processing waste. *Izvestiya TINRO*, 120, pp. 44–48. EDN: BBPMUS. (In Russ.)

Сведения об авторах

Арабова Зарема Михайловна – ул. Татищева, стр. 16/1, г. Астрахань, Россия, 414056; Астраханский государственный технический университет; ул. Косыгина, 19, г. Москва, Россия, 119991; Институт геохимии и аналитической химии им. В. И. Вернадского, канд. техн. наук, науч. сотрудник; e-mail: zarema.polymer@gmail.com, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6787-7697>

Zarema M. Arabova – 16/1 Tatishcheva Str., Astrakhan, Russia, 414056; Astrakhan State Technical University;

19 Kosygina Str., Moscow, Russia, 119991; V. I. Vernadsky Institute of Geochemistry and Analytical Chemistry, Cand. Sci. (Engineering), Research Fellow;
e-mail: zarema.polymer@gmail.com, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6787-7697>

Алекса́нян Игорь Юрьевич – ул. Татищева, стр. 16/1, г. Астрахань, Россия, 414056;
Астраханский государственный технический университет, д-р техн. наук, профессор;
e-mail: 16081960igor@gmail.com, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5494-1226>

Igor Yu. Aleksanyan – 16/1 Tatishcheva Str., Astrakhan, Russia, 414056;
Astrakhan State Technical University, Dr Sci. (Engineering), Professor;
e-mail: 16081960igor@gmail.com, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5494-1226>

Нугманов Альберт Хамед-Харисович – ул. Татищева, стр. 16/1, г. Астрахань, Россия, 414056;
Астраханский государственный технический университет, д-р техн. наук, профессор;
e-mail: albert909@yandex.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4093-9982>

Albert H.H. Nugmanov – 16/1 Tatishcheva Str., Astrakhan, Russia, 414056;
Astrakhan State Technical University, Dr Sci. (Engineering), Professor;
e-mail: albert909@yandex.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4093-9982>

Коннова Ольга Ивановна – ул. Татищева, стр. 16/1, г. Астрахань, Россия, 414056;
Астраханский государственный технический университет, вед. инженер;
e-mail: okonnova88@gmail.com, ORCID: <https://orcid.org/0009-0007-1691-1780>

Olga I. Konnova – 16/1 Tatishcheva Str., Astrakhan, Russia, 414056;
Astrakhan State Technical University, Leading Engineer;
e-mail: okonnova88@gmail.com, ORCID: <https://orcid.org/0009-0007-1691-1780>

Алекса́нян Артур Игоревич – ул. Татищева, стр. 16/1, г. Астрахань, Россия, 414056;
Астраханский государственный технический университет, аспирант;
e-mail: ar4i221235@mail.ru, ORCID: <https://orcid.org/0009-0003-0200-4187>

Artur I. Aleksanyan – 16/1 Tatishcheva Str., Astrakhan, Russia, 414056;
Astrakhan State Technical University, PhD Student;
e-mail: ar4i221235@mail.ru, ORCID: <https://orcid.org/0009-0003-0200-4187>

Яснов Андрей Сергеевич – ул. Татищева, стр. 16/1, г. Астрахань, Россия, 414056;
Астраханский государственный технический университет, аспирант;
e-mail: Ysandrew@mail.ru, ORCID: <https://orcid.org/0009-0002-1728-0718>

Andrey S. Yasnov – 16/1 Tatishcheva Str., Astrakhan, Russia, 414056;
Astrakhan State Technical University, PhD Student;
e-mail: Ysandrew@mail.ru, ORCID: <https://orcid.org/0009-0002-1728-0718>

635.65:641.1

Изменения биологической и пищевой ценности зерна гороха и фасоли в результате его биоактивации

А. Л. Вебер*, С. А. Леонова

*Омский государственный аграрный университет имени П. А. Столыпина, г. Омск, Россия;

e-mail: al.veber@omgau.org, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0715-0426>

Информация о статье Реферат

Поступила
в редакцию
10.06.2024;

получена
после доработки
31.07.2024;

принята к публикации
05.08.2024

Ключевые слова:

горох,
фасоль,
пищевая ценность,
белково-углеводный
комплекс

Актуальность исследования обусловлена целесообразностью использования биоактивированного зерна гороха и фасоли отечественной селекции в технологиях альтернативных продуктов сложного сырьевого состава для здорового, функционального и специализированного питания различных групп населения. Цель работы – изучить влияние разработанных технологических режимов биоактивации на пищевую и биологическую ценность, функционально-технологические свойства белково-углеводного комплекса зерна гороха и фасоли. В работе рассмотрены результаты исследований технологических и биохимических свойств зерна гороха селекции Башкирского НИИСХ и фасоли селекции Омского ГАУ при его биоактивации с использованием установки смарт-спраутер "Росинка". Изучены аминокислотный состав, ингибирующая активность зерна исследуемых сортов, усвояемость белка *in vitro*, функционально-технологические свойства белково-углеводного комплекса зерна. Исследования осуществляли с использованием общепринятых, современных инструментальных методов анализа свойств сырья и готовой продукции. Установлено, что применение разработанных технологических параметров биоактивации приводит к модификации функционально-технологических свойств структурообразующих нутриентов зерна, интенсивному накоплению всех аминокислот за исключением треонина, позволяет увеличить содержание белка в зерне гороха на 15,32 % и фасоли на 14,96 % по отношению к исходным значениям, повысить степень соответствия белка зерна гороха и фасоли эталонному белку ФАО/ВОЗ на 4,48 и 17,53 %, снизить активность ингибиторов протеаз зерна на 19,76 и 26,12 %, повысить переваримость белка зерна на 7,77 и 5,85 %. Результаты исследований доказывают целесообразность использования биоактивированного зерна гороха и фасоли для производства альтернативных продуктов сложного сырьевого состава, в том числе напитков на растительной основе и продуктов сегмента *dairy alternatives*.

Для цитирования

Вебер А. Л. и др. Изменения биологической и пищевой ценности зерна гороха и фасоли в результате его биоактивации. Вестник МГТУ. 2024. Т. 27, № 3. С. 282–293. DOI: <https://doi.org/10.21443/1560-9278-2024-27-3-282-293>.

Changes in the biological and nutritional value of pea and bean grains as a result of their bioactivation

Anna L. Veber*, Svetlana A. Leonova

*The Stolypin Omsk State Agrarian University, Omsk, Russia;

e-mail: al.veber@omgau.org, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0715-0426>

Article info

Received
10.06.2024;

received
in revised form
31.07.2024;

accepted
05.08.2024

Key words:

peas,
beans,
nutritional value,
protein-carbohydrate
complex

Abstract

The relevance of the study is due to the need to improve the technology for processing peas and beans of domestic selection into plant-based drinks and their use in technologies for alternative products of complex raw materials for healthy, functional and specialized nutrition of various population groups. The purpose of the work is to study the influence of the developed technological modes of bioactivation on the nutritional and biological value, functional and technological properties of the protein-carbohydrate complex of pea and bean grains. The work examines the results of studies of changes occurring in pea grains bred at the Bashkir Research Institute of Agriculture and beans bred at the Omsk State Agrarian University during their bioactivation using the Smart Sprouter "Rosinka" installation, in particular the biochemical composition and inhibitory activity of grain of the studied varieties, a protein complex and amino acid composition, protein digestibility *in vitro*, functional and technological properties of the protein-carbohydrate complex of grain. The research has been carried out using generally accepted, modern instrumental methods for analyzing the properties of raw materials and finished products. It has been established that the use of the developed technological parameters of bioactivation leads to modification of the functional and technological properties of the structure-forming nutrients of grain, intensive accumulation of all amino acids, with the exception of threonine, make it possible to increase the protein content in pea grain by 15.32 % and beans by 14.96 %, relative to the initial values increase the degree of compliance of pea and bean grain protein with the FAO/WHO reference protein by 4.48 and 17.53 %, reduce the activity of grain protease inhibitors by 19.76 and 26.12 %, increase the digestibility of grain protein by 7.77 and 5.85 %. The research results prove the feasibility of using bioactivated pea and bean grains for the production of alternative products with a complex raw material composition, including plant-based drinks and products in the "dairy alternatives" segment.

For citation

Veber, A. L. et al. 2024. Changes in the biological and nutritional value of pea and bean grains as a result of their bioactivation. *Vestnik of MSTU*, 27(3), pp. 282–293. (In Russ.) DOI: <https://doi.org/10.21443/1560-9278-2024-27-3-282-293>.

Введение

Зернобобовые культуры (соя, фасоль, горох, нут, чечевица, люпин, вика яровая, бобы и др.), издавна широко культивируемые на территории Российской Федерации, являются стратегически важным резервом для решения проблемы дефицита белка у населения. Их особая ценность заключается не только в ликвидации дефицита белка, но и в улучшении фитосанитарного состояния полей за счет поддержания естественным путем плодородия почвы (обогащение ее доступными формами азота благодаря деятельности клубеньковых бактерий), сохранении растительного и подземного биоразнообразия. В отечественном земледелии в структуре посевных площадей, учитывая все типы хозяйств, зернобобовые культуры занимали в 2021 г. – 2,40 %, в 2022 г. – 2,31, в 2023 г. – 2,70 % от площади всех сельскохозяйственных культур. В указанной структуре посевных площадей зернобобовых культур 52,12–67,04 % удельного веса приходится на горох (без учета типа хозяйства населения) вследствие более высокой урожайности. Фасоль выращивается в небольших количествах в хозяйствах населения (валовый сбор составляет около 6 тыс. т). При этом самообеспеченность России фасолью составляет 22,7 %, 77,0 % приходится на импорт (Зотиков и др., 2020; Зотиков и др., 2018).

Несмотря на разнообразие сортов бобовых культур, увеличение их посевных площадей, в том числе в мировом масштабе, за исключением сои, по сравнению с зерновыми невелико. Во многом это обусловлено слабым развитием рынка продуктов питания, производимых из зерна бобовых, низкой информированностью потребителя о его пользе, специфичностью вкусовых качеств, повышенным содержанием антиалиментарных веществ, а также ряда ингибиторов протеиназ, которые снижают активность пищеварительных ферментов, усвояемость и технологические свойства белка.

В настоящее время учеными разработано достаточно методов, способов и технологических приемов, направленных на инактивацию антиалиментарных веществ, например, замачивание в различных растворителях, экструдирование, измельчение, термическая обработка (поджаривание, микронизация, автоклавирование, СВЧ-обработка и кипячение) (Фролов и др., 2020). Остаются актуальными традиционные методы селекции (Зотиков и др., 2018), применяются также геномные и постгеномные технологии, механохимические (Голязимова, 2010; Горлов и др., 2018) и механоферментативные (Толкачева и др. 2017; Бычков и др., 2017; Витол и др., 2018) технологии. Биоактивация (проращивание) зерна является альтернативой механоферментативной обработки, в результате которой возрастают пищевая и биологическая ценность, полностью инактивируется или значительно снижается активность антиалиментарных веществ, повышается полноценность аминокислотного состава и усвояемость белка (Вебер и др., 2017; Антипова и др., 2017; Шаскольский и др., 2007; Kim et al., 2005; Kariluoto et al., 2006; Buriro et al., 2010; Samiya et al., 2020). Подтверждена целесообразность использования пророщенного зерна в различных отраслях пищевой промышленности (Пащенко, 2009; Самофалова и др., 2016; Цапалова и др., 1999; Антипова и др., 2001; Rotulo et al., 2022; Ерофеева, 2023). Однако данные о качественных и количественных изменениях биохимического состава, модификации белково-углеводного комплекса зерна гороха и фасоли сортов отечественной селекции, как и данные о целесообразности использования пророщенного зерна для получения альтернативных продуктов весьма немногочисленны.

Таким образом, целью работы явилось изучение влияния технологических режимов биоактивации на пищевую и биологическую ценность, функционально-технологические свойства белково-углеводного комплекса зерна гороха и фасоли с целью его дальнейшей переработки в альтернативные продукты питания.

Материалы и методы

Для проведения эксперимента использовали зерно гороха сорта Памяти Хангильдина (селекция БНИИСХ, Республика Башкортостан) и фасоли сорта Омичка (селекция ФГБОУ ВО Омского ГАУ, г. Омск), качество которых соответствовало требованиям ГОСТ 28674-2019¹ "Горох. Технические условия" и ГОСТ 7758-2020 "Фасоль продовольственная. Технические условия". Технологические режимы биоактивации зерна бобовых культур исследуемых сортов представлены на рис. 1 (Leonova et al., 2023). Для биоактивации использовали установку смарт-спраутер "Росинка", в основу которой заложена технология aeroponics (Устройство..., 2016).

Для оценки биохимического состава зерна исследованных сортов до и после биоактивации определяли: содержание белка методом Къельдаля по ГОСТ 10846-91, соотношение белковых фракций в зерне по методу Ермакова – Дурыниной²; влажность зерна – по ГОСТ 13586.5-2015, содержание жира в зерне – ГОСТ 29033-91, углеводов – ГОСТ 26176-2019 и ГОСТ 10845-98. Переваримость белка оценивали по общепринятой методике *in vitro* (Покровский и др., 1965).

Микроскопические исследования проведены с использованием электронного микроскопа MF-BGU-LED-NE620 (Китай) с флуоресцентным осветителем и камерой для микроскопирования (модель FL-20) при общем увеличении микроскопа в видимой области спектра в пределах от 2000X до 4000X. Для обработки полученных микрофотографий использовали программу Capture 2.4.

¹ Информация о нормативных актах и ГОСТах представлена в Приложении.

² Практикум по агрохимии / под ред. академика РАСХН В. Г. Минеева. Москва : Изд-во МГУ, 2001. 689 с.

Аминокислотный состав белка определяли методом высокоэффективной жидкостной хроматографии на жидкостном хроматографе LC-20AB Shimadzu. Разделение проводили на колонке Zorbax Eclipse XDB-C18 4.6×150 mm, 5µm (Agilent). Градиентный режим элюирования от 1 до 65 % за 40 мин. Скорость потока – 1,4 мл/мин, элюент А – 0,02М раствор ацетата натрия, элюент В – метанол. Температура 35 °С, аналитическая длина волны – 338 нм. Погрешность определения менее 6 %. Также использовали систему капиллярного электрофореза "Капель – 105/105 М" по ГОСТ 31480-2012; ГОСТ Р 55569-2013 с последующим детектированием по методике М.04-38-2009 (ФР.1.31.2010.07015).



Рис. 1. Технологическая схема производства биоактивированного зерна гороха и фасоли исследуемых сортов
 Fig. 1. Technological scheme for the production of bioactivated grain peas and beans of the studied varieties

Биологическую ценность белков оценивали путем расчета аминокислотного сора по формуле с использованием шкалы ФАО/ВОЗ³

$$AK = \frac{\text{мг АК в 1 г белка}}{\text{мг АК в 1 г эталона}} \cdot 100 \%$$

Активность протеаз определяли методом Эрлангера с модификациями (Соломинцев и др., 2009). К буферному раствору (Трис-НСI, pH 8) в ячейке иммунологического планшета добавляли такие же объемы раствора синтетического субстрата БАПНА – N, α-бензоил-DL-аргинин-4-нитроанилида (1 мг/мл) и исследуемого препарата и выдерживали при $t = 30 \text{ }^\circ\text{C}$ в течение 30 мин, затем в реакционную смесь добавляли равный объем 10%-й уксусной кислоты для остановки реакции. Контрольная проба вместо БАПНА содержала воду. Оптическое поглощение полученного раствора выявляли на фотоколориметре Labsystems Uniskan (Финляндия) при длине волны 405 нм. Активность фермента выражали в оптических единицах (условные единицы ферментативной активности, Е). Активность ингибиторов трипсина определяли по методике Гофмана – Вайсбля с модификациями. Определение проводили аналогично ферментативной активности, буферный раствор содержал 1 мг/мл трипсина. Устанавливалась протеолитическая активность раствора (экстракт зерна исследуемых сортов в присутствии трипсина). При этом в прогретых образцах ферменты находились в денатурированном состоянии, т. е. собственной протеолитической активности в экстрактах не было. Во все пробы вносили равное количество трипсина. Исходя из того что значение протеолитической активности раствора (экстракт зерна исследуемых сортов в присутствии трипсина) напрямую зависит от подавляющей

³ Dietary protein quality evaluation in human nutrition / Report of an FAO Expert Consultation. Rome : FAO, 2013. 66 p.

активности ингибиторов трипсина, был сделан вывод об ингибирующей активности зерна исследуемых сортов.

При определении активности уреазы в единицах рН на рН-метре использовался метод ГОСТ 13979.9-69. Статистическую обработку данных проводили, используя методы математической статистики с применением программного обеспечения Microsoft Excel (версия 2019 г.). При статистической обработке результатов исследований для каждого опытного образца стандартное отклонение не превышало 3,0 % при доверительной вероятности $P = 0,95$.

Результаты и обсуждение

В результате проведенных ранее исследований по комплексной оценке качества сортов гороха (Чишминский 95, Чишминский 229 и Памяти Хангильдина) селекции Башкирского НИИСХ и фасоли сортов Омичка и Лукерья селекции Омского ГАУ осуществлена дифференциация сортов по целевому назначению. Установлено, что для производства альтернативных продуктов сложного сырьевого состава, в том числе напитков на растительной основе рекомендуется сорт гороха Памяти Хангильдина и фасоль сорта Омичка (Вебер и др., 2022). Как уже отмечено ранее, биоактивация является этапом, влияющим на изменение биологической и пищевой ценности, органолептических показателей растительного сырья (табл. 1, рис. 2).

Таблица 1. Характеристика и органолептические показатели биоактивированного зерна гороха и фасоли исследуемых сортов
 Table 1. Characteristics and organoleptic characteristics bioactivated grain of peas and beans of the studied varieties

Показатель	Нативное зерно		Биоактивированное зерно	
	Горох, сорт Памяти Хангильдина	Фасоль, сорт Омичка	Горох, сорт Памяти Хангильдина	Фасоль, сорт Омичка
Внешний вид	Форма шаровидная (семядоли желтые, рубчик светлый, закрыт остатком семядоли)	Форма овальная	Зерно выровненное, сферической формы	Зерно шарообразной формы
			Ростки белого цвета длиной 2–3 мм; поверхность зерен – матовая, влажная	
Консистенция	Мучнистая, к моменту готовности (обработки) сохраняется целостность оболочек	Мягкая, легко разжевывается, к моменту готовности (обработки) сохраняется целостность оболочек	Мучнистая	
Цвет	Желтый (с просвечивающими через семенную кожуру семядолями)	Белый с серыми штрихами	Ярко-желтый	Бежевый
Вкус	Сладкий	Сладковатый	Сладковатый с солодовым послевкусием	Солодовый с легким бобовым привкусом
Запах	Слабовыраженный запах гороха	Слабовыраженный, специфический запах фасоли	Легкий травянистый	Легкий бобовый

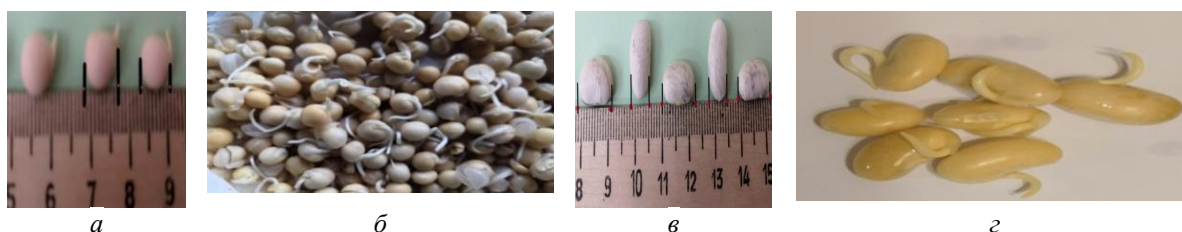


Рис. 2. Зерно фасоли и гороха исследуемых сортов:
 а – Памяти Хангильдина до биоактивации; б – Памяти Хангильдина после биоактивации;
 в – Омичка до биоактивации; г – Омичка после биоактивации
 Fig. 2. Bean and pea grains of the studied varieties:
 а – Memory of Khangildin before bioactivated; б – Memory of Khangildin after bioactivated;
 в – Omichka before bioactivated; г – Omichka after bioactivated

В результате применения разработанных технологических режимов биоактивации установлены глубокие изменения биохимического состава зерна бобовых культур исследуемых сортов (табл. 2), протекающие под действием ферментного комплекса.

Таблица 2. Изменение биохимического состава зерна исследуемых сортов в результате процесса биоактивации
Table 2. Changes in the biochemical composition of grain studied varieties as a result of the bioactivation process

Показатель	Горох, сорт Памяти Хангильдина		Фасоль, сорт Омичка	
	до	после	до	после
	биоактивации		биоактивации	
Массовая доля влаги, %	14,07 ± 0,110	43,65 ± 0,650	16,07 ± 0,110	43,43 ± 0,570
Массовая доля жира, % на с.в.	1,56 ± 0,482	2,24 ± 0,010	1,67 ± 0,416	2,24 ± 0,192
Массовая доля крахмала, % на с.в.	45,09 ± 2,141	37,26 ± 0,645	51,26 ± 0,475	43,20 ± 0,262
Массовая доля редуцирующих сахаров, % на с.в.	0,84 ± 0,115	3,11 ± 0,159	0,44 ± 0,101	2,49 ± 0,012
Протеолитическая активность экстракта зерна исследуемых сортов в присутствии трипсина, Е	167 ± 4,93	200 ± 7,50	111 ± 1,15	140 ± 2,00
Активность уреазы, ед. рН	0,00	0,00	0,01	0,00
Переваримый белок, %	52,48 ± 1,80	56,56 ± 0,10	49,48 ± 1,60	52,37 ± 0,11
Массовая доля белка, % на с.в.	24,01 ± 2,493	27,69 ± 0,451	23,65 ± 0,437	27,19 ± 0,536
Фракционный состав белка, % от общего белка				
Водорастворимый белок	18,52 ± 0,45	25,56 ± 0,56	14,91 ± 0,30	19,00 ± 0,30
Солерастворимый белок	77,85 ± 1,05	73,10 ± 1,05	82,82 ± 1,58	80,00 ± 1,60
Щелочерастворимый белок	3,63 ± 0,04	1,34 ± 0,03	2,25 ± 0,05	1,00 ± 0,01

Данные табл. 1 и 2 свидетельствуют о различиях между образцами. Увеличение содержания редуцирующих сахаров, снижение количества крахмала на 17,36 и 15,72 % соответственно по отношению к исходным значениям свидетельствуют о деструкции и модификации крахмала.

Ингибирующая способность зерна фасоли существенно превышает ингибирующую активность зерна гороха как до, так и после биоактивации.

Применение разработанных методов позволяет полностью инактивировать фермент уреазу, снизить ингибиторную активность в пророщенном зерне гороха и фасоли на 19,76 и 26,12 % по отношению к исходным значениям, повысить переваримость белка зерна гороха на 7,77 и фасоли на 5,85 % по отношению к исходным значениям, а также, как было показано ранее, увеличить долю полиненасыщенной линолевой жирной кислоты (Вебер и др., 2023). Аналогичные результаты, отражающие изменение активности ингибиторов трипсина в зерне фасоли в результате биоактивации, были обнаружены и другими учеными (Катюк и др., 2019; Возиян и др., 2013).

Убедительным подтверждением модификации белкового комплекса является увеличение содержания белка в биоактивированном зерне гороха и фасоли на 15,32 и 14,96 % по отношению к исходным значениям, увеличение содержания водорастворимых белков на 38,01 % в зерне гороха и на 27,43 % в зерне фасоли по отношению к исходным значениям, снижение доли солерастворимой и щелочерастворимой фракций на 6,10 и 63,09 % по отношению к исходным значениям в горохе и на 3,40 и 55,55 % по отношению к исходным значениям в фасоли. Деструкция зерна в результате проращивания показана на фотографиях его микроструктуры (рис. 3).

Белки зерна при биоактивации набухают, становятся подвижными и переходят в раствор в виде коллоидов. Крахмальные гранулы теряют структуру и форму, разрушаются вследствие неоднородного набухания биополимеров. Появляется незначительное количество мелких и крупных скоплений декстринизированного крахмала, исчезают оформленные белково-жировые гранулы. Структурные изменения клеточных полимеров исследуемых сортов гороха и фасоли в результате биоактивации приводят к изменениям функционально-технологических свойств крахмала.

Учитывая, что в процессе биоактивации происходит увеличение протеолитической активности эндо- и экзопептидаз, белок бобовых культур структурно модифицируется, расщепляется до аминокислот и переходит в легкоусвояемое состояние. При исследовании аминокислотного состава нативного и биоактивированного зерна гороха и фасоли установлено, что у исследуемых сортов происходит интенсивное

накопление всех аминокислот за исключением треонина. В результате определения биологической ценности белка исследуемых сортов до и после биоактивации путем расчета аминокислотного сора (АК) относительно стандартной шкалы ФАО/ВОЗ установлены количественные изменения лимитирующих аминокислот (табл. 3).

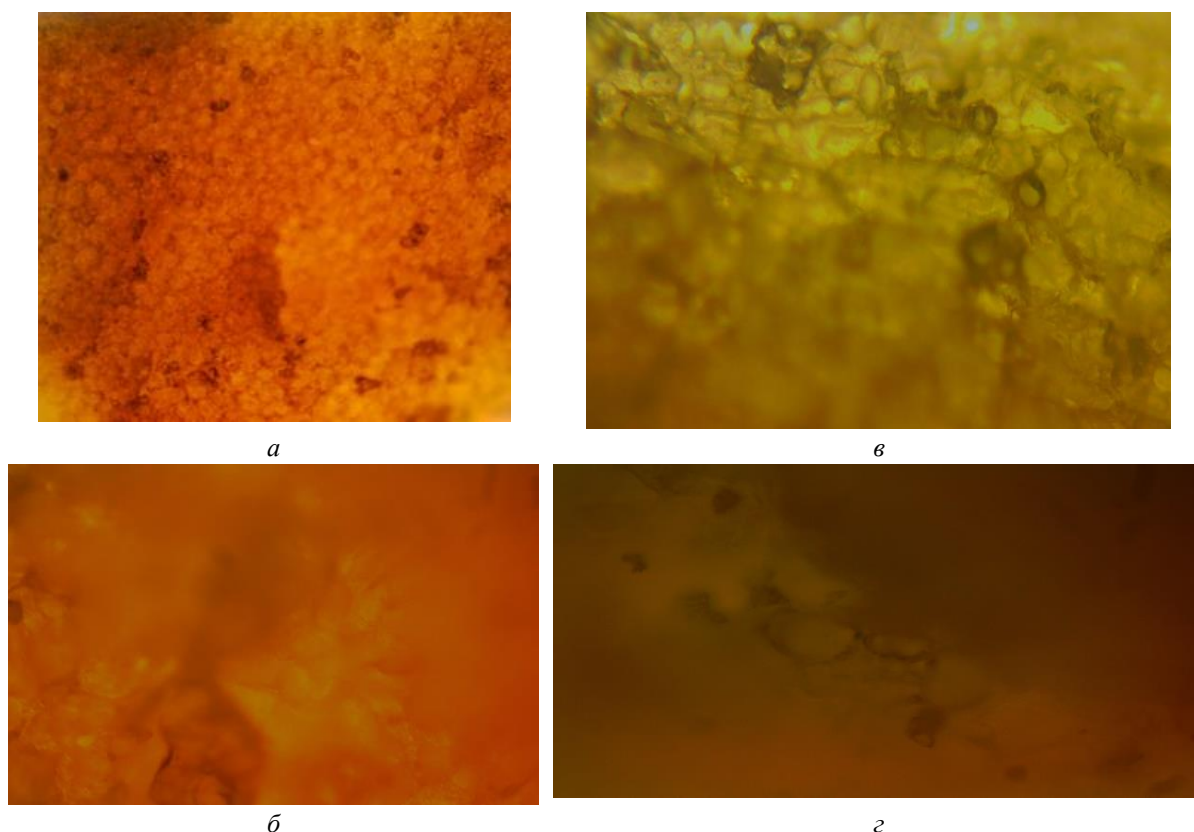


Рис. 3. Микроструктура зерна гороха и фасоли исследуемых сортов: *а* – Памяти Хангильдина до биоактивации; *б* – Памяти Хангильдина после биоактивации; *в* – Омичка до биоактивации; *г* – Омичка после биоактивации

Fig. 3. Microstructure of pea and bean grains of the studied varieties: *a* – Memory of Khangildin before bioactivation; *б* – Memory of Khangildin after bioactivation; *в* – Omichka before bioactivation; *г* – Omichka after bioactivation

Таблица 3. Аминокислотный сора белка исследуемых сортов до и после биоактивации
 Table 3. Amino acid score of the protein of the studied varieties before and after bioactivation

Незаменимые аминокислоты (НАК)	Горох, сорт Памяти Хангильдина		Фасоль, сорт Омичка	
	до	после	до	после
	биоактивации		биоактивации	
	Аминокислотный сора, %			
Треонин	119,90	86,33	123,05	58,30
Метионин + цистеин	70,75	111,86	79,66	93,54
Валин	87,59	91,18	13,38	15,72
Триптофан	80,70	151,65	114,60	156,70
Фенилаланин + тирозин	83,69	96,95	46,42	78,80
Изолейцин	143,83	95,78	132,00	107,39
Лейцин	89,39		88,82	
Лизин	93,23	101,33	60,50	127,88
Гистидин	28,23	32,23	24,22	26,64

Степень соответствия белка зерна гороха и фасоли эталонному белку ФАО/ВОЗ (рис. 4) увеличилась на 4,48 и 17,53 % соответственно, что позволяет говорить о большей полноценности белка биоактивированного

зерна в сравнении с нативным, а также о целесообразности и эффективности использования разработанных параметров биоактивации.

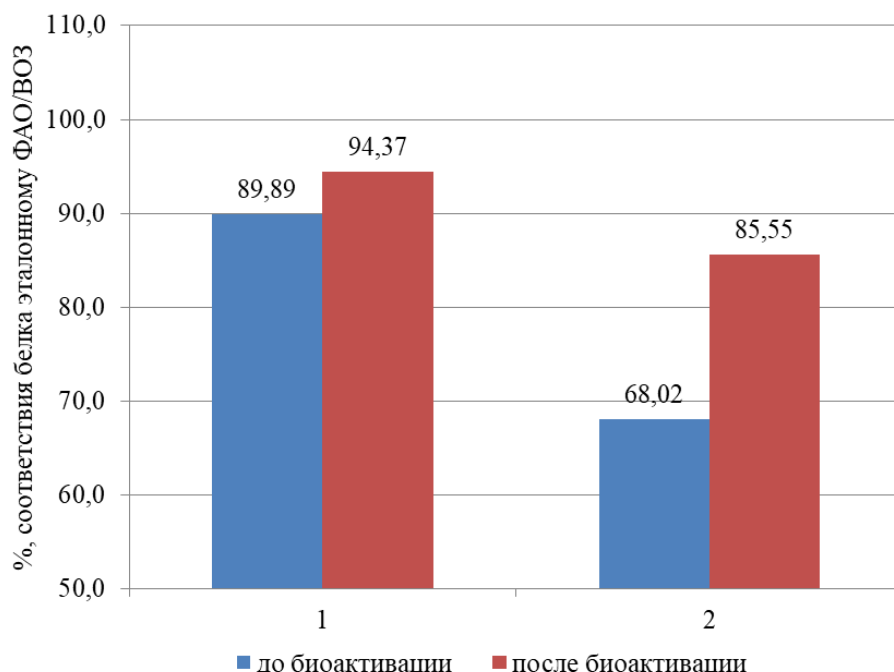


Рис. 4. Соответствие белка зерна эталонному белку ФАО/ВОЗ (1 – горох сорт Памяти Хангильдина, 2 – фасоль сорт Омичка)

Fig. 4. Correspondence of grain protein to the FAO/WHO reference protein (1 – pea variety Memory of Khangildin, 2 – bean variety Omichka)

Обобщая полученные результаты, можно сделать вывод, что биоактивированное зерно гороха и фасоли является весьма перспективным сырьем для производства альтернативных продуктов питания сложного сырьевого состава, в том числе напитков на растительной основе.

Заключение

Установлены различия биохимического состава зерна гороха и фасоли исследуемых сортов до и после биоактивации.

Достигнутое в результате биоактивации зерна гороха и фасоли увеличение содержания белка на 15,32 и 14,96 % по отношению к исходным значениям, заменимых и незаменимых аминокислот за исключением треонина, водорастворимых белков на 38,01 и на 27,43 % по отношению к исходным значениям, снижение доли солерастворимой и щелочерастворимой фракций белка на 6,10 и 63,09 % по отношению к исходным значениям в горохе и на 3,40 и 55,55 % по отношению к исходным значениям в фасоли, а также снижение активности ингибиторов протеаз на 19,76 в горохе и на 26,12 % в фасоли по отношению к исходным значениям и повышение переваримости белка зерна гороха на 7,77 и фасоли на 5,85 % по отношению к исходным значениям способствует достижению повышенной пищевой и биологической ценности зерна.

Учитывая достигнутую степень модификации белково-углеводного комплекса, повышенную пищевую и биологическую ценность биоактивированного зерна гороха и фасоли, рекомендовано его применение в качестве основного сырья для производства альтернативных продуктов сложного сырьевого состава, в том числе напитков на растительной основе.

Благодарности

Выражаем благодарность доктору сельскохозяйственных наук, профессору, заместителю директора по научной работе Башкирского НИИ сельского хозяйства Ф. А. Давлетову за предоставленные селекционные сорта гороха и доктору сельскохозяйственных наук, профессору Омского ГАУ Н. Г. Казыдуб за предоставленные селекционные сорта фасоли.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Библиографический список

- Антипова Л. В., Гребенщиков А. В., Мищенко А. А., Осипова Н. А. [и др.]. Пророщенные семена чечевицы – источник пищевых веществ и средств для восстановления работоспособности спортсменов // Технологии пищевой и перерабатывающей промышленности АПК – продукты здорового питания. 2017. № 4(18). С. 69–79. EDN: ZWNPNQ.
- Антипова Л. В., Курчаева Е. Е., Перельгин В. М. Исследование процесса замачивания семян чечевицы при получении из них водных дисперсий // Известия вузов. Пищевая технология. 2001. № 5–6(264–265). С. 54–55. EDN: QCPHRR.
- Бычков А. Л., Ломовский О. И. Современные достижения в механоферментативной переработке растительного сырья // Химия растительного сырья. 2017. № 2. С. 35–47. DOI: <https://doi.org/10.14258/jcprm.2017021546>. EDN: ZFANWP.
- Вебер А. Л., Леонова С. А. Изменения жирнокислотного состава и липидного профиля зерна гороха и фасоли при прорастивании // Хранение и переработка сельхозсырья. 2023. № 2. С. 72–89. DOI: <https://doi.org/10.36107/spfp.2023.436>. EDN: RBMRSF.
- Вебер А. Л., Казыдуб Н. Г., Леонова С. А., Жиарно М. Получение биологически активного компонента из пророщенных бобов фасоли с целью его последующего использования // Хлебопродукты. 2017. № 6. С. 35–38. EDN: YTAMUJ.
- Вебер А. Л., Леонова С. А., Кондратьева О. В. Потребительские свойства и потенциальная востребованность продукции "Dairy Alternatives" из отечественных сортов гороха и фасоли // Техника и технология пищевых производств. 2022. Т. 52, № 1. С. 108–123. DOI: <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2022-1-108-122>. EDN: KGQULO.
- Витол И. С., Мелешкина Е. П. Протеолитические ферментные препараты в биотрансформации продуктов переработки зерновых и бобовых культур // Актуальная биотехнология. 2018. № 3(26). С. 306–310. EDN: HEIBOP.
- Возиян В. И., Таран М. Г., Якобуца М. Д., Авадэний Л. П. Питательная ценность сортов сои, гороха, фасоли и содержание в них антипитательных веществ // Зернобобовые и крупяные культуры. 2013. № 1(5). С. 26–29. EDN: QCSQJN.
- Голязимова О. В. Механическая активация ферментативного гидролиза целлюлозы и лигноцеллюлозных материалов : автореф. дис. ... канд. хим. наук. Новосибирск, 2010. 23 с.
- Горлов И. Ф., Семенова И. А., Мосолов А. А., Сложенкин А. Б. [и др.]. Новый метод снижения содержания антипитательных веществ в бобовых культурах // Вестник Российской сельскохозяйственной науки. 2018. № 3. С. 71–73. DOI: <https://doi.org/10.30850/vrsn/2018/3/71-73>. EDN: XUJTHF.
- Ерофеева А. В., Бурмасова М. А., Сысоева М. А. Получение напитков на овсяной основе с растительными добавками // Вестник МГТУ. 2023. Т. 26, № 3. С. 249–256. DOI: <https://doi.org/10.21443/1560-9278-2023-26-3-249-256>. EDN: XSYMM.
- Зотиков В. И., Полухин А. А., Грядунова Н. В., Сидоренко В. С. [и др.]. Развитие производства зернобобовых и крупяных культур в России на основе использования селекционных достижений // Зернобобовые и крупяные культуры. 2020. № 4(36). С. 5–17. DOI: [10.24411/2309-348X-2020-11198](https://doi.org/10.24411/2309-348X-2020-11198). EDN: BPRYFH.
- Зотиков В. И., Сидоренко В. С., Грядунова Н. В. Развитие производства зернобобовых культур в Российской Федерации // Зернобобовые и крупяные культуры. 2018. № 2(26). С. 4–10. DOI: [10.24411/2309-348X-2018-10008](https://doi.org/10.24411/2309-348X-2018-10008). EDN: UQRBKK.
- Катюк А. И., Шаболкина Е. Н., Васин А. В., Булатова К. А. [и др.]. Пищевые достоинства семян фасоли, сои и гороха сортов селекции Самарского НИИСХ // Зерновое хозяйство России. 2019. № 4. С. 8–13. DOI: <https://doi.org/10.31367/2079-8725-2019-64-4-8-13>. EDN: DDPRTA.
- Пашенко Л. П. Разработка технологии хлеба, обогащенного семенами нута // Успехи современного естествознания. 2009. № 1. С. 24–38. EDN: KUNDUT.
- Покровский А. А., Ертанов И. Д. Атакуемость белков пищевых продуктов // Вопросы питания. 1965. № 3. С. 38–44.
- Самофалова Л. А., Сафронова О. В. Анализ физико-химических основ технологии растительных заменителей молока // Технология и товароведение инновационных пищевых продуктов. 2016. № 2(37). С. 60–64. EDN: VTRCTV.
- Соломинцев М. В., Могильный М. П. Определение активности ингибиторов протеолитических ферментов в пищевых продуктах // Известия высших учебных заведений. Пищевая технология. 2009. № 1(307). С. 13–16. EDN: JWSBFJ.

- Толкачева А. А., Черенков Д. А., Корнеева О. С., Пономарев П. Г. Ферменты промышленного назначения – обзор рынка ферментных препаратов и перспективы его развития // Вестник Воронежского государственного университета инженерных технологий. 2017. Т. 79, № 4(74). С. 197–203. DOI: <https://doi.org/10.20914/2310-1202-2017-4-197-203>. EDN: YRTTZE.
- Устройство для выращивания растений : пат. на полезную модель 160896 Рос. Федерация / Алгазин Д. Н., Воробьев Д. А., Забудский А. И., Забудская Е. А. ; № 2015150588/13 ; заявл. 25.11.2015 ; опубл. 10.04.16, Бюл. № 10.
- Фролов В. Ю., Класнер Г. Г., Тарасов В. С., Баранов В. П. Анализ способов обработки зернобобовых культур с последующим получением кормов на их основе // Научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. 2020. № 157(03). С. 218–230. DOI: <https://doi.org/10.21515/1990-4665-157-016>.
- Цапалова И. Е., Сотников О. М. Повышение биологической ценности хлеба путем биоактивации зерна пшеницы. Влияние проращивания на химический состав и качество клейковины // Хлебопечение России. 1999. № 6. С. 26–27.
- Шаскольский В. В., Шаскольская Н. Д. Антиоксидантная активность прорастающих семян // Хлебопродукты. 2007. № 8. С. 58–59. EDN: IAIJSJ.
- Buriro M., Oad F. C., Keerio M. I., Tunio S. [et al.]. Wheat seed germination under the influence of temperature regimes // Sarhad Journal of Agriculture. 2010. Vol. 27, Iss. 4. P. 539–543.
- Kariluoto S., Liukkonen K.-H., Myllymäki O., Vahteristo L. [et al.]. Effect of germination and thermal treatments on folates in rye // Journal of Agricultural and Food Chemistry. 2006. Vol. 54, Iss. 25. P. 9522–9528. DOI: <https://doi.org/10.1021/jf061734j>.
- Kim Y.-S., Kim J.-G., Lee Y.-S., Kang I.-J. Comparison of the chemical components of buckwheat seed and sprout // Journal of the Korean Society of Food Science and Nutrition. 2005. Vol. 34, N 1. P. 81–86. DOI: <https://doi.org/10.3746/jkfn.2005.34.1.081>.
- Leonova S., Veber A., Kalugina O., Badamshina E. [et al.]. Conditions for making plant dispersions based on nature-like technologies // Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca. 2023. Vol. 51, Iss. 2. Article number: 13088. DOI: <https://doi.org/10.15835/nbha51213088>.
- Romulo A., Sadek N. F. Antioxidant and nutritional analysis of organic black rice (*Oryza sativa* L.) milk // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2022. Vol. 998. Article number: 012055. DOI: <https://doi.org/10.1088/1755-1315/998/1/012055>.
- Samtiya M., Aluko R. E., Dhewa T. Plant food anti-nutritional factors and their reduction strategies: An overview // Food Production, Processing and Nutrition. 2020. Vol. 2. Article number: 6. DOI: <https://doi.org/10.1186/s43014-020-0020-5>.

References

- Antipova, L. V., Grebenshchikov, A. V., Mishchenko, A. A., Osipova, N. A. et al. 2017. Sprouted lentil seeds are a source of nutrients and means for restoring the performance of athletes. *Technologies of the Food and Processing Industry of the Agro-industrial Complex-healthy Food Products*, 4(18), pp. 69–79. EDN: ZWNPNQ. (In Russ.)
- Antipova, L. V., Kurchaeva, E. E., Perelygin, V. M. 2001. Study of the process of soaking lentil seeds to obtain aqueous dispersions from them. *Izvestiya VUZOV. Food Technology*, 5–6(264–265), pp. 54–55. EDN: QCPHRR. (In Russ.)
- Bychkov, A. L., Lomovskii, O. I. 2017. Modern achievements in mechanoenzymatic processing of plant raw materials. *Chemistry of Plant Raw Material*, 2, pp. 35–47. DOI: <https://doi.org/10.14258/jcprn.2017021546>. EDN: ZFAHWP. (In Russ.)
- Veber, A. L., Leonova, S. A. 2023. Changes in the fatty acid composition and lipid profile of pea and bean grains during germination. *Storage and Processing of Farm Products*, 2, pp. 72–89. DOI: <https://doi.org/10.36107/spfp.2023.436>. EDN: RBMRSF. (In Russ.)
- Veber, A. L., Kazydub, N. G., Leonova, S. A., Zhiarno, M. 2017. Obtaining a biologically active component from sprouted beans for the purpose of its subsequent use. *Khleboproducty*, 6, pp. 35–38. EDN: YTAMUJ. (In Russ.)
- Veber, A. L., Leonova, S. A., Kondrat'eva, O. V. 2022. Consumer properties and potential demand for "Dairy Alternatives" products from domestic varieties of peas and beans. *Food Processing: Techniques and Technology*, 52(1), pp. 108–123. DOI: <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2022-1-108-122>. EDN: KGQULO. (In Russ.)
- Vitol, I. S., Meleshkina, E. P. 2018. Proteolytic enzyme preparations in the biotransformation of processed products of grains and legumes. *Aktualnaya Biotekhnologiya*, 3(26), pp. 306–310. EDN: HEIBOP. (In Russ.)
- Voziyaniy, V. I., Taran, M. G., Yakobutsa, M. D., Avadeniy, L. P. 2013. Nutritional value of varieties of soybeans, peas, beans and the content of antinutrients in them. *Leguminous and Cereal Crops*, 1(5), pp. 26–29. EDN: QCSQJN. (In Russ.)

- Golyazimova, O. V. 2010. Mechanical activation of enzymatic hydrolysis of cellulose and lignocellulosic materials. Abstract of Ph.D. dissertation. Novosibirsk. (In Russ.)
- Gorlov, I. F., Semenova, I. A., Mosolov, A. A., Slozhenkin, A. B. et al. 2018. A new method for reducing the content of antinutrients in legumes. *Vestnik of the Russian Agricultural Science*, 3, pp. 71–73. DOI: <https://doi.org/10.30850/vrsn/2018/3/71-73>. EDN: XUJTHF. (In Russ.)
- Erofeeva, A. V., Burmasova, M. A., Sysoeva, M. A. 2023. Preparation of oat-based drinks with herbal additives. *Vestnik of MSTU*, 26(3), pp. 249–256. DOI: <https://doi.org/10.21443/1560-9278-2023-26-3-249-256>. EDN: XSYMM. (In Russ.)
- Zotikov, V. I., Polukhin, A. A., Griadunova, N. V. et al. 2020. Development of the production of leguminous and cereal crops in Russia based on the use of breeding achievements. *Legumes and Groat Crops*, 4(36), pp. 5–17. DOI: 10.24411/2309-348X-2020-11198. EDN: BPRYFH. (In Russ.)
- Zotikov, V. I., Sidorenko, V. S., Griadunova, N. V. 2018. Development of the production of grain legumes in the Russian Federation. *Legumes and Groat Crops*, 2(26), pp. 4–10. DOI: 10.24411/2309-348X-2018-10008. EDN: UQRBKK. (In Russ.)
- Katyuk, A. I., Shabolkina, E. N., Vasin, A. V., Bulatova, K. A. et al. 2019. Nutritional benefits of bean, soybean and pea seeds of varieties selected by the Samara Research Institute of Agriculture. *Grain Economy of Russia*, 4, pp. 8–13. DOI: <https://doi.org/10.31367/2079-8725-2019-64-4-8-13>. EDN: DDPRTA. (In Russ.)
- Pashchenko, L. P. 2009. Development of technology for bread enriched with chickpea seeds. *Advances in Current Natural Sciences*, 1, pp. 24–38. EDN: KUHDUT. (In Russ.)
- Pokrovsky, A. A., Ertanov, I. D. 1965. Attackability of food proteins. *Voprosy Pitaniya*, 3, pp. 38–44. (In Russ.)
- Samofalova, L. A., Safronova, O. V. 2016. Analysis of the physical and chemical foundations of the technology of plant-based milk substitutes. *Technology and Merchandising of the Innovative Foodstuff*, 2(37), pp. 60–64. EDN: VTRCTV. (In Russ.)
- Solomintsev, M. V., Mogil'nyi, M. P. 2009. Determination of the activity of proteolytic enzyme inhibitors in food products. *Izvestiya VUZOV. Food Technology*, 1(307), pp. 13–16. EDN: JWSBFJ. (In Russ.)
- Tolkacheva, A. A., Cherenkov, D. A., Korneeva, O. S., Ponomarev, P. G. 2017. Enzymes for industrial use – review of the market for enzyme preparations and prospects for its development. *Proceedings of the Voronezh State University of Engineering Technologies*, 79(4(74)), pp. 197–203. DOI: <https://doi.org/10.20914/2310-1202-2017-4-197-203>. EDN: YRTTZE. (In Russ.)
- Algazin, D. N., Zabudsky, A. I., Vorobev, D. A. et al. Omsk SAU. 2015. Device for growing plants, Russian Federation, Pat. 160896. (In Russ.)
- Frolov, V. Yu., Klasner, G. G., Tarasov, V. S., Baranov, V. P. 2020. Analysis of methods for processing leguminous crops with subsequent production of feed based on them. *Polythematic Online Scientific Journal of Kuban State Agrarian University*, 157(03), pp. 218–230. DOI: <https://doi.org/10.21515/1990-4665-157-016>. (In Russ.)
- Tsapalova, I. E., Sotnikov, O. M. 1999. Increasing the biological value of bread by bioactivation of wheat grain. The influence of germination on the chemical composition and quality of gluten. *Bakery of Russia*, 6, pp. 26–27. (In Russ.)
- Shaskol'skii, V. V., Shaskol'skaya, N. D. 2007. Antioxidant activity of germinating seeds. *Khleboproducty*, 8, pp. 58–59. EDN: IAIJSJ. (In Russ.)
- Buriro, M., Oad, F. C., Keerio, M. I., Tunio, S. et al. 2010. Wheat seed germination under the influence of temperature regimes. *Sarhad Journal of Agriculture*, 27(4), pp. 539–543.
- Kariluoto, S., Liukkonen, K.-H., Myllymäki, O., Vahteristo, L. et al. 2006. Effect of germination and thermal treatments on folates in rye. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 54(25), pp. 9522–9528. DOI: <https://doi.org/10.1021/jf061734j>.
- Kim, Y.-S., Kim, J.-G., Lee, Y.-S., Kang, I.-J. 2005. Comparison of the chemical components of buckwheat seed and sprout. *Journal of the Korean Society of Food Science and Nutrition*, 34(1), pp. 81–86. DOI: <https://doi.org/10.3746/jkfn.2005.34.1.081>.
- Leonova, S., Veber, A., Kalugina, O., Badamshina, E. et al. 2023. Conditions for making plant dispersions based on nature-like technologies. *Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca*, 51(2). Article number: 13088. DOI: <https://doi.org/10.15835/nbha51213088>.
- Romulo, A., Sadek, N. F. 2022. Antioxidant and nutritional analysis of organic black rice (*Oryza sativa* L.) milk. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 998. Article number: 012055. DOI: <https://doi.org/10.1088/1755-1315/998/1/012055>.
- Samtiya, M., Aluko, R. E., Dhewa, T. 2020. Plant food anti-nutritional factors and their reduction strategies: An overview. *Food Production, Processing and Nutrition*, 2. Article number: 6. DOI: <https://doi.org/10.1186/s43014-020-0020-5>.

Сведения об авторах

Вебер Анна Леонидовна – Институтская пл., 1, г. Омск, Россия, 644008;
Омский государственный аграрный университет имени П. А. Столыпина, канд. техн. наук, доцент;
e-mail: al.veber@omgau.org, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0715-0426>

Anna L. Veber – 1 Institutskaya Sq., Omsk, Russia, 644008;
The Stolypin Omsk State Agrarian University, Cand. Sci. (Engineering), Associate Professor;
e-mail: anna.web@mail.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0715-0426>

Леонова Светлана Александровна – ул. 50-летия Октября, 34, г. Уфа, Россия, 450054;
Башкирский государственный аграрный университет, д-р техн. наук, профессор;
e-mail: s.leonova@inbox.ru

Svetlana A. Leonova – 34, 50-letiya Oktyabrya Str., Ufa, Russia, 450054;
Bashkir State Agrarian University, Dr Sci. (Engineering), Professor; e-mail: s.leonova@inbox.ru

Нормативные документы, использованные в статье

ГОСТ 10845-98	Зерно и продукты его переработки. Метод определения крахмала. М., 2001.
ГОСТ 10846-91	Зерно и продукты его переработки. Метод определения белка. М., 2009.
ГОСТ 13586.5-2015	Зерно. Метод определения влажности. М., 2019.
ГОСТ 13979.9-69	Жмыхи и шроты. Методика выполнения измерений активности уреазы. М., 2017.
ГОСТ 26176-2019	Корма, комбикорма. Методы определения растворимых и легкогидролизуемых углеводов. М., 2019.
ГОСТ 28674-2019	Горох. Технические условия. М., 2019.
ГОСТ 29033-91	Зерно и продукты его переработки. Метод определения жира. М., 1992.
ГОСТ 31480-2012	Комбикорма, комбикормовое сырье. Определение содержания аминокислот (лизина, метионина, треонина, цистина и триптофана) методом капиллярного электрофореза. М., 2012.
ГОСТ 7758-2020	Фасоль продовольственная. Технические условия. М., 2020.
ГОСТ Р 55569-2013	Корма, комбикорма, комбикормовое сырье. Определение протеиногенных аминокислот методом капиллярного электрофореза. М., 2014.
М.04-38-2009	Определение протеиногенных аминокислот в комбикормах и сырье. М., 2014.

УДК 664.959.5:597.555.51

The use of protein hydrolysate from fish waste as part of microbiological culture media

Iuliia V. Zhivlyantseva*, Lyudmila K. Kuranova, Vladimir A. Grokhovsky
*National Center for the Safety of Aquatic Products and Aquaculture, Murmansk, Russia;
e-mail: youliapetrakova@mail.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4957-297X>

Article info

Received
21.03.2024;

accepted
08.05.2024

Key words:

fish protein hydrolysate,
fish wastes,
recycle fish materials,
culture medium,
coefficient
of productivity
of culture medium,
identifying test
microorganisms

Abstract

The need to involve in the processing of significant amount of secondary protein-containing raw materials formed during fish cutting, on the one hand, and on the other hand, the shortage of a source of the protein component of microbiological nutrient media determines the relevance of the work. The goal was to study the possibility of using fish protein hydrolyzate obtained by enzymatic hydrolysis from secondary fish raw materials in microbiological nutrient media. Microbiological and physicochemical methods were used to conduct research. When optimizing the developed algorithm for the fermentation process, a mathematical model of the experiment was used with a minimum number of experiments. An algorithm has been developed for obtaining fish protein hydrolyzate from meat and bone waste from cutting pelagic fish (cod). The hydrolysis parameters were optimized: the concentration of the enzyme preparation is 1.33 % of the total mass of waste, the duration of the fermentation process – 3 hours. The characteristics of the resulting fish hydrolyzate are determined: the mass fraction of total nitrogen – 13 %, amine – 3.6 %, water – 4.6 %, sodium chloride – 2.7 %, fat – 0.3 %. An experimental fish hydrolyzate has been studied as a source of protein nitrogen in accordance with the formulation of a microbiological medium used for counting when growing colonies of microorganisms. The effectiveness of the prepared nutrient media was assessed by comparing the performance coefficients of the experimental and control nutrient media, as well as by identifying test microorganisms grown on the experimental medium. It was established that the growth pattern of test cultures both on the studied nutrient medium and on the control medium was almost the same. Test microorganisms retained their biochemical, morphological and cultural characteristics. The research results showed the possibility of using fish protein hydrolyzate obtained by enzymatic hydrolysis from secondary fish raw materials in microbiological nutrient media.

For citation

Zhivlyantseva, I. V. et al. 2024. The use of protein hydrolysate from fish waste as part of microbiological culture media. *Vestnik of MSTU*, 27(3), pp. 294–301. (In Engl.) DOI: <https://doi.org/10.21443/1560-9278-2024-27-3-294-301>.

Использование белкового гидролизата из вторичного рыбного сырья в составе микробиологических питательных сред

Ю. В. Живлянцева*, Л. К. Куранова, В. А. Гроховский

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

Информация о статье Реферат

Поступила
в редакцию
21.03.2024;

принята
к публикации
08.05.2024

Ключевые слова:

рыбный белковый
гидролизат,
вторичное рыбное сырье,
питательные среды,
коэффициент
производительности
питательной среды,
идентификация тест-
микроорганизмов

Необходимость вовлечения в переработку значительного количества вторичного белоксодержащего сырья, образующегося при разделке рыбы, с одной стороны, и с другой – дефицит источника белковой составляющей микробиологических питательных сред определяет актуальность работы. Целью являлось исследование возможности использования в составе микробиологических питательных сред рыбного белкового гидролизата, полученного методом ферментативного гидролиза из вторичного рыбного сырья. Для проведения исследований применялись микробиологические и физико-химические методы. При оптимизации разработанного алгоритма процесса ферментации использовали математическую модель эксперимента при минимальном числе опытов. Разработан алгоритм получения рыбного белкового гидролизата из мясокостных отходов от разделки пелагических рыб (трески). Оптимизированы параметры гидролиза: концентрация ферментного препарата – 1,33 % к суммарной массе отходов, продолжительность процесса ферментации – 3 ч. Определены характеристики полученного рыбного гидролизата: массовая доля общего азота составила 13 %, аминного – 3,6 %, воды – 4,6 %, хлористого натрия – 2,7 %, жира – 0,3 %. Опытный рыбный гидролизат исследован в качестве источника белкового азота в соответствии с рецептурой микробиологической среды, используемой для подсчета при выращивании колоний микроорганизмов. Эффективность приготовленных питательных сред оценивали путем сравнения коэффициентов производительности опытной и контрольной питательной среды, а также методом идентификации выросших на экспериментальной среде тест-микроорганизмов. Установлено, что характер роста тест-культур как на исследуемой питательной среде, так и на контрольной практически одинаков. Тест-микроорганизмы сохранили свои биохимические, морфологические и культуральные признаки. Результаты исследований показали возможность использования в составе микробиологических питательных сред рыбного белкового гидролизата, полученного методом ферментативного гидролиза из вторичного рыбного сырья.

Для цитирования

Живлянцева Ю. В. и др. Использование белкового гидролизата из вторичного рыбного сырья в составе микробиологических питательных сред. *Вестник МГТУ*. 2024. Т. 27, № 3. С. 294–301. DOI: <https://doi.org/10.21443/1560-9278-2024-27-3-294-301>.

Introduction

The fundamental "tool" in microbiology is culture media. They are used for research purposes, selection and research of isolated types of microorganisms, creation of new vaccines and medicines, for other purposes related to pharmaceuticals, biology, and medicine. Today on the market there is a very large number of liquid and powder media for microbiology from the world's largest manufacturers "Pronadisa" laboratorios Conda, S.A. (Spain), Merck (Germany), bioMerieux (BioMerieux, France), Neogen (America). They have the appropriate quality certificates, but their cost is quite high. In this regard, the development of technologies for the production of import-substituting culture media is urgent. The main component of most culture media are the products of protein hydrolysis of plant and animal origin. Until now, pancreatic hydrolysate of fish meal (State research center for applied biotechnology and microbiology, Russia, Obolensk), enzymatic hydrolysate of casein (Pronadisa Conda, Spain), casein and soy peptones (Merck, Germany), pancreatic hydrolysate of casein have been widely used as protein bases, papain hydrolysate of soybeans (BioMerrier, France), gelatinous peptone and meat extract (Neogen, America), etc. However, due to the cessation of fishmeal production as well as the introduction of sanctions on the import of imported raw materials, there is a shortage of this type of product. For the production of protein hydrolysate – a source of nitrogen in the composition of microbiological culture media – we used an alternative source of raw materials: recycle fish materials, namely, meat and bone waste from cutting pelagic fish. Fish waste is an important underestimated reserve of raw materials. Research into the use of protein from fish waste as a component of culture media has been carried out by the research team for a number of years since 2016. Waste from cutting pelagic fish species on fillets makes up 57–64 % on average of the mass of fish received for cutting, and the share of musculoskeletal waste accounts for up to 30–35 % (Derkach *et al.*, 2017; Дровянинова *и др.*, 2015a). At the same time, they contain a significant amount of complete animal protein. Analysis of information sources (Дровянинова *и др.*, 2015b; Касьянов, 2015; Максимюк *и др.*, 2009) had showed that it was the rationality of the use of recycle materials and waste that would reduce the raw material shortage in the production of microbiological nutrient media. The involvement of this source of raw materials in processing is a promising direction for the development of the most important branch of modern agriculture (Ломовцева *и др.*, 2019).

Materials and methods

The purpose of the work was to study the possibility of utilization a hydrolysate from fish waste as a protein component of microbiological media. To achieve this goal, the following tasks were solved: to optimize the previously developed algorithm for the fermentation of fish waste; to study the physicochemical and biochemical parameters of a prototype of fish protein hydrolysate; to evaluate the quality of culture media used for growing microorganisms prepared using a prototype hydrolysate.

In the developed algorithm for obtaining a prototype fish protein hydrolysate, the objects of study were musculoskeletal waste of cod fillets (cod caught by the "Public Joint-Stock Company Murmansk Trailing Fleet" in the fishing areas of the Barents Sea), an enzyme preparation – protosubtilin G3X – a product of the activity of bacteria of the *Bacillus subtilis* strain (Sibbiopharm, Russia), an experimental sample of fish protein hydrolysate obtained in the process of enzymatic hydrolysis.

Physical and chemical indicators such as content of water, fat, proteins, amine nitrogen and minerals were determined by standard methods GOST 7636-85 "Fish, marine mammals, marine invertebrates and products of their processing. Analysis methods"¹. The protein content was determined by the Kjeldahl method using equipment consisting of two elements: BLOCK-DIGEST 12 for sample mineralization and an automatic distillation unit PRO-NITRO A (J.P. Selekt, Spain). The fat content was determined by the Soxhlet method using a Selecta DET-gras extractor (Spain).

The degree of hydrolysis was defined by the calculation method as the ratio of the mass fraction of amine nitrogen to the mass fraction of total nitrogen in the hydrolysate (Производство..., 1990).

For establishing the optimal parameters of enzymatic hydrolysis two factors rotatable compositional plan was used. Mathematical data processing was carried out using the DataFit program, version 9.1 (Решетников, 2000).

The experiments were carried out in triplicate, the data obtained were subjected to one-way analysis of variance (ANOVA) using Origin Pro 8.0. Differences between the means were considered significant at $p < 0.05$.

We prepared culture media using the obtained fish protein hydrolysate according to the formulation of the control culture medium. The pancreatic fishmeal hydrolysate was replaced with a prototype fish protein hydrolysate. As a control medium, we used "Nutrient agar for the cultivation of microorganisms GRM" (manufactured by State research center for applied biotechnology and microbiology, Russia, Obolensk).

To control the efficiency of culture media, test microorganisms with stable characteristics were used.

The work used microorganisms with stable characteristics, which are the causative agents of the most dangerous food poisoning.

¹ Information on regulations and GOSTs is presented in the Appendix.

Test microorganisms were obtained from specialized collections: *Staphylococcus aureus* ATCC 25923 ROSENBLACH 1884; *Salmonella enteritidis* No. 5765 (ex Kauffmann & Edwards 1952) *le minor* & Popov 1987.

For the prepared culture media: control and test (containing a test sample of fish protein hydrolysate), coefficient of productivity of culture medium was calculated according to GOST ISO 11133-2016 "Microbiology of food products, animal feed and water. Preparation, production, storage and determination of the working characteristics of nutrient media". After cultivation on the studied culture media, biochemical signs during the identification of microorganisms were determined using test systems (Diagnostic kit No. 2, Scientific and Production Association "Microgen", Russia).

Results

A prototype of fish protein hydrolysate was obtained by enzymatic hydrolysis of cod musculoskeletal waste. As an enzyme preparation, we used protosubtilin G3X – a product of the activity of bacteria of the *Bacillus subtilis* strain (Sibbiopharm, Russia). The proteolytic activity of the enzyme is 560.77 $\mu\text{mol TYR/g}$.

One of the quality parameters of fish protein hydrolysate is the degree of hydrolysis determined in various ways. The most common indicator is the ratio of the mass fraction of amine nitrogen to the mass fraction of total nitrogen in the hydrolysate.

The degree of hydrolysis of the obtained fish protein hydrolysate is 28.06 % (Куранова и др., 2016). According to the literature data the degree of hydrolysis of the most promising enzymes – bromelain and papain – is 23.74 %.

In addition, the choice of the enzyme was due to its lower cost compared to other enzymes, for example, trypsin, pancreatin, pepsin, bromelain and papain, etc., which are used in the production of industrial fish protein hydrolysates.

When optimizing the fermentation parameters, the dosage of the enzyme preparation was varied in relation to the mass of the hydrolyzed raw material (X_1 , %) and the duration of exposure (X_2 , hour) at the previously specified temperature of 45 °C. The numerical characteristic of the value of the achieved degree of hydrolysis (Y , %) was chosen as an optimized parameter. We used a rotatable composite plan (Живлянцева и др., 2018) for a two-factor experiment (Table 1).

Table 1. Results of experimental data processing on optimization of the fermentation stage of hydrolysis of cod waste

Таблица 1. Результаты обработки данных экспериментов по оптимизации стадии ферментации гидролиза отходов трески

Parameter	1	2	3	4	5	6	7	8	9
X_1 , %	0.6	0.6	1.5	1.5	1.05	1.69	0.41	1.05	1.05
X_2 , hour	2	5	2	5	3.5	3.5	3.5	1.38	5.62
Y , %	23.5	23.9	26.5	27.0	27.5	27.6	22.8	24.3	27.6

As a result of processing experimental data the following equation describing the influence of the studied factors on the optimization option was received (Живлянцева и др., 2018)

$$Y = ax_1 + bx_1^2 + cx_2 + dx_2^2 + ex_2^3, \quad (1)$$

where Y – the value of the achieved degree of hydrolysis, %; x_1 – the dosage of enzyme preparation, %; x_2 – the duration of hydrolysis, hour; a, b, c, d, e – the regression coefficients: $a = 17.08$; $b = -6.42$; $c = 14.14$; $d = -3.80$; $e = 0.32$.

Fisher's criterion for this equation is 80.84, it means that with the given confidence level (0.99), the regression equation reliably describes the change in the optimization parameter depending on the change in factors X_1 and X_2 .

To find the optimal values of the factors X_1 and X_2 determining the optimal parameters of the hydrolysis process, we used the methods of mathematical processing (differentiation).

The values of these optimal factors are as follows: X_1 (concentration of the enzyme preparation) – 1.33 % by weight of raw materials; X_2 (duration of the hydrolysis process) – 3 hours (Живлянцева и др., 2018). Considering the research carried out, an algorithm for obtaining a fish protein hydrolysate has been developed.

For further research, we used a hydrolysate prepared according to the developed algorithm, considering the optimized fermentation conditions. The quality indicators of the prototype fish protein hydrolysate are presented in Table 2.

Fish protein hydrolysate is an amorphous, light yellowish powder with a weak mushroom aroma. It has the ability to emulsify, foaming, when dissolved in water gives opalescent solutions, which confirms the preservation of the properties of the native protein in the product. Studies of the biological value of the product had found that the hydrolysate contained all protein amino acids, including essential ones, the minimum amount contains tryptophan (4.0 mg/g protein), the maximum amount contains hydroxyproline (150.6 mg/g protein) (Куранова и др., 2016).

Table 2. Quality indicators of a fish protein hydrolysate prototype
Таблица 2. Показатели качества опытного образца рыбного белкового гидролизата

The name of indicators	Value
Consistence	Amorphous homogeneous powder
Colour	Light beige
Aroma	Typical for this type of product
Active acidity, pH	6.75 ± 0.10
Moisture content, %	4.60 ± 0.26
Mass fraction of amine nitrogen, %	3.60 ± 0.09
Mass fraction of total nitrogen, %	12.97 ± 0.04
Mass fraction of fat, %	0.26 ± 0.02
Mass fraction of sodium chloride, %	2.70 ± 0.12

The experimental sample of fish protein hydrolysate received according to an optimized fermentation mode was used to make a culture medium in a control nutrient agar formulation, in which pancreatic fish meal hydrolysate is used as a nitrogen source. In the experimental culture medium, the pancreatic fishmeal hydrolysate was completely replaced by the experimental fish protein hydrolysate. As a control, we used "Nutrient agar for the cultivation of microorganisms, dry GRM". The formulations of the test and control culture media are presented in Table 3.

Table 3. Recipes of culture media
Таблица 3. Рецептуры питательных сред

Name	Amount, g (ml)/1 l of distilled water
Nutrient agar for the cultivation of microorganisms, dry GRM	
Peptone for bacteriological culture media	12
Fishmeal Pancreatic Hydrolysate	12
Sodium chloride	6
Agar	10
Study culture medium based on a prototype fish protein hydrolysate	
Peptone for bacteriological culture media	12
Prototype fish protein hydrolysate	12
Sodium chloride	6
Agar	10

To control the quality of culture media, test microorganisms with stable characteristics was used.

The prepared culture media were intended for counting the column of microorganisms. To control the quality of the prepared culture media, the coefficient of productivity of the culture medium was calculated.

The productivity of the culture medium is the degree of growth of the target microorganism on the culture medium under certain conditions. Sowing test-cultures on the control and test media was performed by direct inoculation. Crops were incubated in a thermostat at a temperature of 37 ± 1 °C for 18–24 hours. Microorganisms were counted using GOST ISO 7218-2015 "Microbiology of food and animal feed. General requirements and guidance for microbiological examinations".

Comparative characteristics of the growth performance of test microorganisms on the studied culture medium based on fish protein hydrolysate and nutrient agar GRM are presented in Table 4.

Table 4. The growth form of test microorganisms on the studied culture medium based on fish protein hydrolysate and nutrient agar GRM

Таблица 4. Сравнительная характеристика роста тест-микроорганизмов на исследуемой питательной среде на основе рыбного белкового гидролизата и питательном агаре ГРМ

Tested culture media	Dilution	<i>Staphylococcus aureus</i> ATCC 25923	<i>Salmonella enteritidis</i> № 5765
Tested culture medium based on a prototype fish protein hydrolysate (N_c)	10 ⁻⁶	1.3×10 ⁹	3.8×10 ⁹
Nutrient agar for the cultivation of microorganisms, dry GRM (N_c)	10 ⁻⁶	1.3×10 ⁹	3.5×10 ⁹

The productivity of culture medium was assessed as the degree of growth of the target microorganism on the culture medium when compared with culture agar for the cultivation of microorganisms GRM (GOST ISO 11133-2016) under certain conditions and was calculated by the formula

$$P_R = N_c / N_0, \quad (2)$$

where P_R – the coefficient of productivity of culture medium; N_c – the arithmetic mean of the number obtained on the culture medium subjected to the test (for example, the number of colonies in plates); N_0 – the arithmetic mean of the amount obtained on a certain control culture medium.

The coefficients of productivity of culture medium are presented in Table 5.

Table 5. Coefficient of productivity of culture medium
Таблица 5. Коэффициенты производительности

Name	<i>Salmonella enteritidis</i> № 5765	<i>Staphylococcus aureus</i> ATCC 25923
Tested culture medium based on a prototype fish protein hydrolysate	1.00	1.09
Nutrient agar for the cultivation of microorganisms, dry GRM	1	1

Description of the obtained results

The results are considered valid when the following conditions are met:

- a positive quantitative result (target bacterial growth) must be obtained for each plate;
- each individual declared result falls within the standard assay range (no more than 100 colonies for methods with filtration and no more than 150 colonies for surface methods). P_R should be at least 0.70 when comparing non-selective media with non-selective control media according to GOST ISO 11133-2016.

The biochemical characteristics of colonies of microorganisms grown on the studied media were investigated. The work used microorganisms with stable characteristics, which are the causative agents of the most dangerous food poisoning.

The most common analogue of fish protein hydrolysate is pancreatic fish meal hydrolysate. According to GOST 29311-92 "Pancreatic hydrolysates for bacterial culture media. General specifications" the main defining indicators of this type of products are the mass fraction of total and amine nitrogen, confirming the presence of the required number of nitrogenous compounds necessary for the life of microorganisms. For pancreatic fish meal hydrolysate, which is used for the preparation of culture media, the value of the mass fraction of amine nitrogen should be at least 0.3 %, total nitrogen – at least 0.75 %. According to TU 480-00001927 "Pancreatic hydrolysate of fish meal. Specifications" the mass fraction of amine nitrogen must be at least 2.8 %, total nitrogen – at least 8 %. According to Table 2, it can be seen that the corresponding values of the experimental fish protein hydrolysate are higher (3.60 and 12.97 %, respectively). It indicated the sufficiency of nitrogenous nutrients in the sample under study.

Microbiological studies have established that the nature of the growth of test cultures on the studied culture medium using a test sample of fish protein hydrolysate as a protein component and control nutrient agar are identical.

Discussion

Coefficient of productivity of culture media has shown an efficiency of microbiological culture media. The studied culture medium showed high productivity ratio ($P_R = 1$, $P_R = 1.09$) when cultivating *Salmonella enteritidis* No. 5765 and *Staphylococcus aureus* ATCC 25923, respectively, which was at the level and even slightly higher than the performance values of the control medium and significantly exceeded the requirements for productivity (P_R more than 0.7) established in GOST ISO 11133-2016.

The test microorganisms after cultivation on the studied nutrient media based on fish protein hydrolysate retained their biochemical characteristics during the identification of microorganisms using test systems (Scientific and Production Association "Microgen", Russia).

Bacteria of the genus *Salmonella* retained their gram-negative Gamma colour, the growth pattern on three-sugar ferruginous agar did not change (they ferment glucose and do not ferment lactose and sucrose, form hydrogen sulphide). Bacteria of the genus *Salmonella* do not form acetoin (Voges-Proskauer reaction is negative). *Salmonella* bacteria ferment mannitol. Agglutination (presence of O-antigens) is manifested in the form of sticking of the bacterial mass and full or partial clarification of the liquid (according to GOST 31659-2012 "Food products. Method for detecting bacteria of the genus *Salmonella*").

Bacteria of the genus *Staphylococcus aureus* retain a gram-positive Gram colour, give a positive reaction to catalase, form acetoin and ferment maltose under aerobic conditions. They have the ability to coagulate rabbit

blood plasma (according to GOST 31746-2012 "Food products. Methods for detecting and quantifying coagulase-positive staphylococci and *Staphylococcus aureus*").

Colonies of microorganisms retain their morphological and cultural properties. Therefore, for these test cultures, nutrients were sufficient on all studied media. The results of microbiological studies confirm the possibility of using fish protein hydrolysate obtained in the process of hydrolysis from cod musculoskeletal waste as a component of general-purpose nutrient media for counting colonies of microorganisms.

Conclusion

Thus, as a result of the conducted research:

- the parameters of the fermentolysis are optimized: duration – 3 hours, enzyme concentration – 1.33 %;
- there are determined chemical and biochemical parameters of the prototype fish protein hydrolysate (mass fraction of amine nitrogen must be at least 3.6 %, total nitrogen – at least 13.0 %), which meet the requirements for the indicators of protein components of nutrient media;
- the quality of nutrient media using a prototype fish protein hydrolysate as a protein component to the operational criteria of GOST ISO 11133-2016 is established;
- the developed fish protein hydrolysate can be recommended for the preparation of general-purpose culture media for counting colonies of microorganisms.

It has been also determined that in the culture medium "Nutrient agar for the cultivation of microorganisms dry GRM" the developed product could completely replace "Pancreatic hydrolysate of fish meal".

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

Acknowledgments

The study was carried out through proactive R&D of Murmansk Arctic University "Development and improvement of technologies for the production of food, feed and technical products of a wide range from animal and plant raw materials of the Arctic region".

References

- Derkach, S. R., Grokhovsky, V. A., Kuranova, L. K., Volchenko, V. I. 2017. Nutrient analysis of underutilized fish species for the production of protein food. *Foods and Raw Materials*, 5(2), pp. 15–23. DOI: <https://doi.org/10.21603/2308-4057-2017-2-15-23>. EDN: YQZBYK.
- Dvoryaninova, O. P., Sokolov, A. V. 2015b. Secondary products of fish cutting: Sources, properties and application in the production of natural biopolymers. Proceedings of V Intern. conf. *Innovative food technologies in the storage and processing of agricultural raw materials: fundamental and applied aspects*, Krasnodar, 28–29 May, 2015. Voronezh, pp. 186–190. (In Russ.)
- Dvoryaninova, O. P., Sokolov, A. V., Spiridonova, M. V. 2015a. By-products of fish cutting: Composition, properties and application. *Sovremennyye Tendentsii Razvitiya Nauki i Tekhnologii*, 5–2, pp. 17–21. EDN: UHWLQX. (In Russ.)
- Kasyanov, G. I. 2015. Modern breakthrough technologies in the meat, dairy and fish industries. Proceedings of Intern. conf. *Innovative technologies for processing raw materials of animal origin*, Krasnodar, 20 February, 2015. Krasnodar, pp. 8–11. EDN: UXUJBV. (In Russ.)
- Kuranova, L. K., Zhivlyantseva, I. V. 2016. Study of the biological value of peptone obtained from secondary fish raw materials of the Arctic region. Coll. of articles of All-Russ. scientific-practical conf. with international participation dedicated to the 145th anniversary of the Sevastopol Biological Station *Marine biological research: Achievements and prospects*, 19–24 September, 2016. Sevastopol. In 3 vol., 3 Vol., pp. 401–403. EDN: XEVIZN. (In Russ.)
- Lomovtseva, A. V., Kulikova, T. V. 2019. Development of the fishery complex in the context of import substitution. Proceedings of the national scientific and technical conf. *Scientific and practical issues of fisheries regulation*, Vladivostok, 22–23 May, 2019. Vladivostok, pp. 74–79. EDN: KZVCHJ. (In Russ.)
- Maksimyuk, N. N., Maryanovskaya, Yu. V. 2009. On the advantages of the enzymatic method for obtaining protein hydrolysates. *Fundamental Research*, 1, pp. 34–35. EDN: KVFGDT. (In Russ.)
- Production and use of microbiological products: A review information. 1990. Inform. provision of industry scientific and technical programs and main directions of industry development. Moscow. (In Russ.)
- Reshetnikov, M. T. 2000. Experiment planning and statistical data processing. Tomsk. (In Russ.)
- Zhivlyantseva, I. 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. DOI: <https://doi.org/10.17217/2079-0333-2018-45-28-36>. EDN: YAAMBN. (In Russ.)

Библиографический список

- Derkach S. R., Grokhovsky V. A., Kuranova L. K., Volchenko V. I. Nutrient analysis of underutilized fish species for the production of protein food // *Foods and Raw Materials*. 2017. Vol. 5, Iss. 2. P. 15–23. DOI: <https://doi.org/10.21603/2308-4057-2017-2-15-23>. EDN: YQZBYK.
- Дворянинова О. П., Соколов А. В. Вторичные продукты разделки рыб: источники, свойства и применение в производстве природных биополимеров // *Инновационные пищевые технологии в области хранения и переработки сельскохозяйственного сырья: фундаментальные и прикладные аспекты* : V междунар. науч.-практ. конф., Краснодар, 28–29 мая 2015 г. Воронеж : Ассоциация "ТППП АПК", 2015б. С. 186–190.
- Дворянинова О. П., Соколов А. В., Спиридонова М. В. Побочные продукты разделки рыб: состав, свойства и применение // *Современные тенденции развития науки и технологий*. 2015а. № 5–2. С. 17–21. EDN: UHWLQX.
- Касьянов Г. И. Современные прорывные технологии в мясной, молочной и рыбной промышленности // *Инновационные технологии переработки сырья животного происхождения: сб. материалов междунар. науч.-практ. конф.*, Краснодар, 20 февраля 2015 г. Краснодар : Изд-во КубГТУ, 2015. С. 8–11. EDN: UXUJBV.
- Куранова Л. К., Живлянцева Ю. В. Исследование биологической ценности пептона, полученного из отходов переработки водных биоресурсов Арктического региона // *Морские биологические исследования: достижения и перспективы: сб. материалов Всерос. науч.-практ. конф. с междунар. участием, приуроченной к 145-летию Севастопольской биологической станции, Севастополь, 19–24 сентября 2016 г.* : в 3 т. Севастополь : ЭКОСИ-Гидрофизика, 2016. Т. 3. С. 401–403. EDN: XEVIZN.
- Ломовцева А. В., Куликова Т. В. Развитие рыбохозяйственного комплекса в условиях импортозамещения // *Научно-практические вопросы регулирования рыболовства* : материалы национальной науч.-техн. конф., Владивосток, 22–23 мая 2019 г. Владивосток, 2019. С. 74–79. EDN: KZVCHJ.
- Максимюк Н. Н., Марьяновская Ю. В. О преимуществах ферментативного способа получения белковых гидролизатов // *Фундаментальные исследования*. 2009. № 1. С. 34–35. EDN: KVFGDT.
- Производство и применение продуктов микробиологических производств : обзор. информ. : Информ. обеспечение отраслевых науч.-техн. программ и основных направлений развития отрасли / ВНИИСЭНТИ. М : ВНИИСЭНТИ, 1990. 50 с. (Белковые гидролизаты в производстве питательных сред ; вып. 9–10).
- Решетников М. Т. Планирование эксперимента и статистическая обработка данных. Томск : Изд-во Томск. гос. ун-та систем управления и радиоэлектроники, 2000. 231 с.
- 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.

Information about the authors

Iuliia V. Zhivlyantseva – 47A Tralovaya Str., Murmansk, Russia, 183001; National Center for the Safety of Aquatic Products and Aquaculture (NCBRP), Head of the Microbiological Research Department; e-mail: youliapetrakova@mail.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4957-297X>

Живлянцева Юлия Вячеславовна – ул. Траловая, 47А, г. Мурманск, Россия, 183001; Национальный центр безопасности продукции водного промысла и аквакультуры, начальник отдела микробиологических исследований; e-mail: youliapetrakova@mail.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4957-297X>

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>

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>

Vladimir A. Grokhovsky – 13 Sportinaya Str., Murmansk, Russia, 183010; Murmansk Arctic University, Dr Sci. (Engineering), Professor; e-mail: GrohovskiyVA@mstu.edu.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1892-0257>

Гроховский Владимир Александрович – ул. Спортивная, 13, г. Мурманск, Россия, 183010; Мурманский арктический университет, д-р техн. наук, профессор; e-mail: GrohovskiyVA@mstu.edu.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1892-0257>

Regulatory documents used in the paper

ГОСТ 29311-92	Гидролизаты панкреатические для бактериальных питательных сред. Общие технические условия. = Pancreatic hydrolysates for bacterial culture media. General technical conditions. М., 1993.
ГОСТ 31659-2012	Продукты пищевые. Метод выявления бактерий рода <i>Salmonella</i> . = Food products. Method for detecting bacteria of the genus <i>Salmonella</i> . М., 2014.
ГОСТ 31746-2012	Продукты пищевые. Методы выявления и определения количества коагулазоположительных стафилококков и <i>Staphylococcus aureus</i> . = Food products. Methods for detecting and determining the number of coagulase-positive staphylococci and <i>Staphylococcus aureus</i> . М., 2013.
ГОСТ 7636-85	Рыба, морские млекопитающие, морские беспозвоночные и продукты их переработки. Методы анализа: межгосударственный стандарт. = Fish, marine mammals, marine invertebrates and products of their processing. Analysis methods. М., 2010.
ГОСТ ISO 11133-2016	Микробиология пищевых продуктов, кормов для животных и воды. Приготовление, производство, хранение и определение рабочих характеристик питательных сред : межгосударственный стандарт. = Microbiology of food products, animal feed and water. Preparation, production, storage and determination of the working characteristics of nutrient media. М., 2016.
ГОСТ ISO 7218-2015	Микробиология пищевых продуктов и кормов для животных. Общие требования и рекомендации по микробиологическим исследованиям: межгосударственный стандарт. = Microbiology of food and animal feed. General requirements and guidance for microbiological examinations. М., 2016.

УДК 664.8:634.1

Получение функциональных пищевых добавок при комплексной переработке фруктов и овощей пониженного качества с применением методов биотехнологии

В. А. Карлов*, А. А. Гольбрайх, О. Я. Мезенова

*Калининградский государственный технический университет, г. Калининград, Россия;
e-mail: vaden1410@mail.ru

Информация о статье Реферат

Поступила
в редакцию
01.04.2024;

получена
после доработки
20.05.2024;

принята
к публикации
22.05.2024

Ключевые слова:

фрукты и овощи
пониженного качества,
комплексная переработка,
ферментативный
гидролиз, карбогидразы,
пищевые добавки,
функциональный
пищевой ингредиент,
функциональный
пищевой продукт,
специализированное
питание

Актуальность переработки фруктов и овощей пониженного по внешним признакам качества обусловлена их объемами в перерабатывающей промышленности и торговых сетях, а также высоким биопотенциалом. Целью исследования являлось обоснование комплексной переработки такого сырья с получением пищевых добавок, содержащих натуральные биологически активные компоненты, и оценка их пищевой функциональности. В экспериментах использовали яблоки, бананы, апельсины, картофель, морковь, помидоры и огурцы, не соответствующие по показателям свежести ГОСТ 57976-2017, но без признаков микробной порчи. Из данного сырья были составлены три вида экспериментальных смесей – фруктовая, овощная и фруктово-овощная. Ключевой операцией переработки являлся ферментативный гидролиз смесей различными карбогидразами (целлюлаза, β -глюканаза, амилаза и глюкоамилаза). Гидролизованные смеси фракционировали с последующим обезвоживанием фракций и получением водорастворимых и водонерастворимых порошкообразных добавок. В процессе ферментации исследовали накопление простых сахаров, сухих веществ, выход готовых продуктов. Наибольшие концентрации сахаров установлены в водорастворимых фракциях из фруктовых смесей. В полученных добавках из трех видов смесей изучали органолептические показатели, химический состав, содержание функциональных пищевых ингредиентов – витамина С, веществ с Р-витаминной активностью, пищевых волокон. Установлен по ИК-спектрам качественный состав пищевых волокон и других полисахаридов в водонерастворимой добавке. С учетом полученных данных проведены расчеты удовлетворения суточных физиологических потребностей в установленных БАВ при употреблении 100 г добавок для обычных людей и спортсменов. Рекомендовано применение добавок в качестве обогащающих агентов функционального назначения в специализированном питании антиоксидантного, иммуномодулирующего и пребиотического направлений, в том числе в составе БАД для спортсменов.

Для цитирования

Карлов В. А. и др. Получение функциональных пищевых добавок при комплексной переработке фруктов и овощей пониженного качества с применением методов биотехнологии. Вестник МГТУ. 2024. Т. 27, № 3. С. 302–315. DOI: <https://doi.org/10.21443/1560-9278-2024-27-3-302-315>.

Producing food supplements by complex processing of fruits and vegetables of reduced quality using biotechnology methods

Vadim A. Karlov*, Anna A. Golbraikh, Olga Ya. Mezenova

*Kaliningrad State Technical University, Kaliningrad, Russia;
e-mail: vaden1410@mail.ru

Article info

Received
01.04.2024;

received
in revised form
20.05.2024;

accepted
22.05.2024

Key words:

substandard fruit
and vegetables,
complex processing,
enzymatic hydrolysis,
carbohydrases,
food supplements,
function food product,
specialized nutrition

Abstract

The actuality of processing of substandard by external signs fruit and vegetables is caused by their higher volumes in the processing industry and retail chains, and additionally by their high biopotentials. The aim of research is to ground complex processing of such raw materials to obtain food supplements containing natural biologically active components, and assessment of their nutritional functionality. The experiments used apples, bananas, oranges, potatoes, carrots, tomatoes and cucumbers that did not meet the freshness criteria of GOST 57976-2017, but without any signs of microbial damage. Three types of experimental mixtures were made from this raw material: fruit, vegetable and fruit-vegetable. The key processing operation was the enzymatic hydrolysis of the mixtures with various carbohydrases (cellulase, β -glucanase, amylase and glucoamylase). The hydrolyzed mixtures were fractionated, followed by dehydration of the fractions to obtain water-soluble and water-insoluble powder supplements. During the fermentation process, the accumulation of simple sugars, dry substances in water-soluble fractions, and the yield of finished products were studied. The highest concentrations of sugars are found in water-soluble fractions from fruit mixtures. In the resulting supplements from three types of mixtures, organoleptic characteristics, chemical composition, and the content of functional food ingredients – vitamin C, substances with P-vitamin activity, and dietary fiber have been studied. The qualitative composition of dietary fiber and other polysaccharides in a water-insoluble supplement has been established using IR-spectra. Taking into account the obtained data, calculations have been made to satisfy the daily physiological needs for established biologically active substances when consuming 100 g of supplements for ordinary people and athletes. It is recommended to use supplements as enriching agents for functional purposes in specialized antioxidant, immunomodulatory and prebiotic nutrition, including as part of dietary supplements for athletes.

For citation

Karlov, V. A. et al. 2024. Producing food supplements by complex processing of fruits and vegetables of reduced quality using biotechnology methods. *Vestnik of MSTU*, 27(3), pp. 302–315. (In Russ.) DOI: <https://doi.org/10.21443/1560-9278-2024-27-3-302-315>.

Введение

Одной из актуальных проблем современной пищевой промышленности является переработка фруктов и овощей пониженного качества (далее – ФРОВПК), которые отличаются проявлением таких дефектов, как нестандартные форма, размер и цвет, увядание и старение, помятости, порезы, нарушение целостности упаковки и другие возможные дефекты. Подобное сырье уже не соответствует требованиям нормативных документов (ГОСТ 57976-2017¹) и по действующему законодательству и санитарным нормам должно быть утилизировано² (СП 2.3.6.3668-20). Однако данное сырье имеет ценный химический состав, характерный для растительного сырья. При этом, как уже писалось выше, в современных реалиях в торговых сетях большая часть подобной продукции идет на утилизацию (Дубцов, 2012; Bancal et al., 2022).

Средний объем продовольственных отходов в мире, по данным на 2023 г., составляет – 1,3 млрд т, что соответствует примерно трети всего произведенного продовольствия (Earth. org 2023³). На территории нашей страны количество подобных отходов составляет порядка 17 млн т (Волкова, 2018). При этом на долю фруктов и овощей в развивающихся странах приходится от 24 до 40 % (Golshan et al., 2017). Если учитывать все возможные потери, образующиеся с момента производства до реализации, объем утилизируемой растительной биомассы может достигать 42 млн т в год. На долю фруктов и овощей в этом объеме в среднем приходится до 45 %.

Фрукты и овощи (ФРОВ) – это важная и незаменимая составляющая здорового питания. При систематическом употреблении в пищу биологически активных веществ (БАВ), входящих в их состав, можно отметить такие биологические эффекты, как иммуномодулирующее, антиоксидантное, кардиопротекторное и другие (Сбитнева, 2019). Состав подобного сырья разнообразен, ФРОВ богаты различными макро- и микроэлементами: витамины (А, группы В, С, Е, К, РР и др.), минеральные вещества (Na, K, Ca, Cu, Fe, Mg и др.), а также многие минорные компоненты, обладающие функциональным эффектом (органические кислоты, биофлавоноиды, индолы, соединения, биогенные амины и др.) (Шевякова и др., 2014).

Следует учитывать, что данное сырье относится к скоропортящемуся, поскольку содержит повышенное количество воды и углеводов (Fabunmi et al., 2015). Потерявшие свежесть ФРОВ уже не подлежат реализации в торговой сети и направляются на утилизацию. При этом признаки микробиологической порчи (гниения, плесневения и т. д.), при которых продукция перестает быть безопасной, еще не наблюдаются. На самых ранних сроках (незаметные потемнения, битости и небольшая потеря упругости) подобное сырье еще можно реализовать по сниженным ценам, однако это требует тщательного отбора и контроля состояния продукции. Частично некондиционные ФРОВ идут на вторичное использование – изготовление джемов, повидла, варенья; незначительная часть направляется в агросектор в качестве добавок в комбикорма для сельскохозяйственных животных или для получения органических удобрений (Ажгиревич и др., 2022).

Еще одним направлением использования ФРОВПК является приготовление питательного субстрата для разведения полезных насекомых и микроорганизмов, но данные технологии специфичны и определяются требованиями заданного продукта (Шайхиев и др., 2020; Способ..., 2022). Еще один способ использования ФРОВ пониженного качества – кормовое сырье для различных животных (Искусственные..., 2021). В большинстве своем подобные отходы подвергаются захоронению или сжиганию на специальных или неофициальных полигонах, и только небольшое их количество (от 6 до 15 % – в зависимости от вида сырья, производства, региона) идет на переработку (Валева и др., 2021; Березенко и др., 2018; Ким и др., 2020). При этом данное сырье практически не используется для получения пищевых или биологически активных добавок.

Следует отметить, что существующие методы утилизации (захоронение, сжигание) некондиционного продовольственного сырья представляют серьезную опасность для экологии, а также требуют значительных экономических и территориальных затрат. При захоронении растительного сырья под действием специфических микроорганизмов, происходит его деградация без доступа кислорода, что приводит к повышенному газообразованию. Выделяющиеся газы (метан 40–70 %; диоксид углерода 30–60 %; оксиды азота, серы и другие) отравляют воздух, почву и сточные воды (Колесников, 2023). При аэробном сжигании отходов также образуются ядовитые и парниковые газы, нарушающие экологию (Капитонов и др., 2023).

В настоящее время ведутся активные исследования по разработке различных технологий переработки ФРОВ пониженного качества (Комплекс..., 2018; Метод..., 2015), но среди подобных работ практически нет исследований по получению пищевых добавок функционального назначения.

¹ Информация о нормативных актах и ГОСТах представлена в Приложении.

² Об отходах производства и потребления : Федеральный закон РФ от 24.06.1998 № 89-ФЗ (последняя редакция). [Электронный ресурс]. Доступ из справ.-поиск. системы "Консультант Плюс".

³ Earth.org. 2023: 20 Facts about food waste [website]. URL: <https://earth.org/facts-about-food-waste> (accessed 27.02.24).

Отдельно стоит отметить получение биогаза из ФРОВ пониженного качества. Для этого применяются анаэробная ферментация, электроферментация, технологии микробных топливных элементов и др. (Потороко и др., 2021; Кадысева и др., 2021), что позволяют получать продукты с добавленной стоимостью и решить некоторые проблемы с растительными отходами. Но данные технологии требуют специального оборудования и специфического микробиологического сообщества, что пока ограничено предлагается промышленностью.

Представляют интерес технологии глубокой переработки растительного сырья пониженного качества с получением фруктовых или овощных порошков, пюре, паст и соусов, что позволяет минимизировать потери от снижения качества ФРОВ. Однако такая переработка не позволяет полностью сохранять биопотенциал сырья, поскольку при тонком измельчении и высоких температурах теряется много тканевого сока, при этом получение порошков обезвоживанием растительной массы сопровождается ее пластификацией и требует индивидуальных режимов (Способ..., 2014; Неменуцкая и др., 2009).

Целью работы является получение из некондиционных по внешним признакам фруктов и овощей натуральных пищевых добавок с высоким биопотенциалом при их комплексной безотходной переработке с применением ферментативного гидролиза.

Для достижения цели выполнялись следующие задачи: обоснование выбора сырья пониженного качества, актуального для торговых сетей Калининградского региона; изучение его химического состава; исследование ферментативного гидролиза смесей из ФРОВПК с применением карбоксигидраз; фракционирование и обезвоживание гидролизованной смеси с получением водорастворимой и водонерастворимой добавок; исследование их биопотенциала и обоснование рациональных направлений использования.

Материалы и методы

В проводимых исследованиях использовались фрукты и овощи с признаками внешней некондиционности, полученные в торговых сетях Калининградской области и г. Калининград (ООО "SPAR", ООО "Виктория"). В качестве фруктов использовали яблоки, бананы и апельсины, овощи – картофель, огурцы, помидоры и морковь. Главной причиной выбора подобного сырья являлась потребительская популярность и доступность как на территории Калининградской области, так и на территории России в целом (Ибрашева и др., 2023). Данные ФРОВ имели внешние признаки потери свежести и товарного вида (вмятины, трещины, морщинистость), однако у них отсутствовала признаки микробной порчи (потемневшие пятна, некоторая помятость, посторонний и/или неприятный запах).

В качестве основной операции при комплексной переработке ФРОВПК использовали ферментативную обработку с применением специфических карбогидраз: целлюлаза (ОАО "Биопрепарат"), β -глюканаза (ООО "Микробиопром"), амилаза (амилосубтилин) и глюкоамилаза (глюкаваморин) (ПО "Сиббиофарм"). Характеристика ферментов представлена в табл. 1.

Таблица 1. Характеристика ферментов, использованных для гидролиза сырья
Table 1. Characteristics of enzymes used for raw material hydrolysis

Фермент	Целлюлаза	β -глюканаза	Амилосубтилин БН	Глюкаваморин
Активность	4 000 ед./мл	10 000 ед./мл	Не менее 1 500 ед./г	6 000 ед./мл
Оптимум рН	4,0–7,0	4,0–5,0	5,0–7,5	4,0–5,0
Оптимум температуры, °С	50–65	65–70	60–70	55–65

Пищевые добавки из фруктов и овощей пониженного качества перерабатывали согласно приведенной на рис. 1 схеме.

На начальном этапе ФРОВПК (яблоки, бананы, апельсины, картофель, морковь, помидоры и огурцы) измельчали с получением биомассы, включающей кожуру, семена, пластинки и косточки. Параллельно производилось взвешивание ферментов и подготовка воды с температурой 60 °С. Ферменты предварительно разбавлялись в небольшом количестве подготовленной теплой воды, а после вносились в смеси, составы которых приведены в табл. 2.

Контроль кислотности (рН) полученных смесей осуществлялся на рН-метре МТ Measurement PH100В. Исходные значения рН смесей входили в значения оптимумов ферментов: фруктовая смесь – $4,7 \pm 0,1$; овощная смесь – $5,1 \pm 0,1$; фруктово-овощная смесь – $4,9 \pm 0,1$.

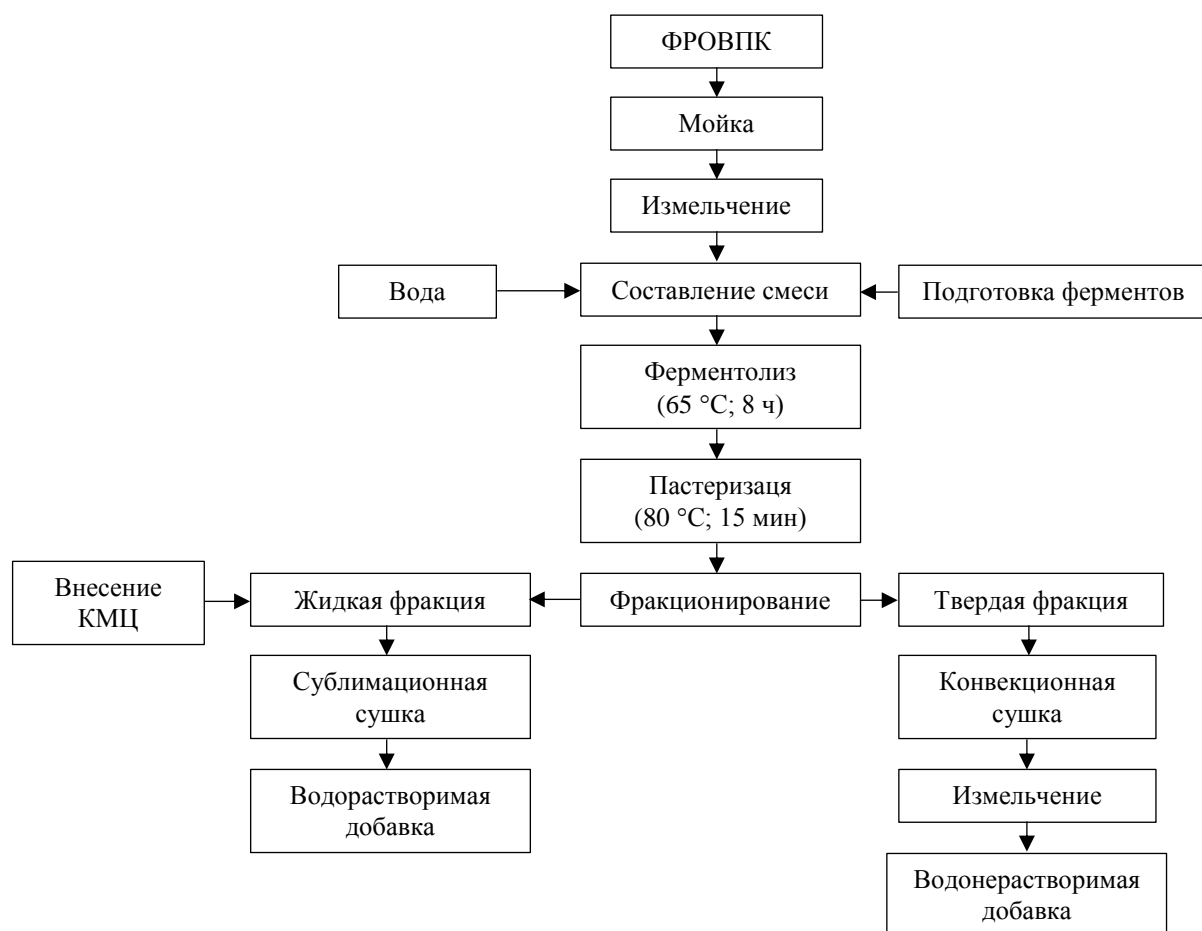


Рис. 1. Схема получения пищевых добавок при комплексной переработке ФРОВПК
 Fig. 1. Scheme of obtaining food supplements during the complex processing of substandard fruits and vegetables

Таблица 2. Состав ферментируемых смесей
 Table 2. Composition of enzymatic mixtures

Компонент	Фруктовая смесь	Овощная смесь	Фруктово-овощная смесь
Яблоки, г	125	–	70
Бананы, г	65,5	–	70
Апельсины, г	62,5	–	70
Картофель, г	–	125	52,5
Огурцы, г	–	42	52,5
Помидоры, г	–	42	52,5
Морковь, г	–	42	52,5
Вода, мл	250	250	420
β-глюканаза, %	1,0	–	1,0
Целлюлаза, %	1,0	–	1,0
Амилосубтилин, %	–	0,07	0,035
Глюкаваморин, %	–	0,17	0,1

Ферменты для смесей выбирались с учетом состава и структуры сырья: фрукты содержат много целлюлозы в клеточных стенках и кожуре, эффективно разлагаемые β-глюканазой и целлюлазой; при этом овощные смеси богаты крахмалом, для его расщепления предпочтительны амилаза и глюкоамилаза; в смесях фруктов и овощей есть все вышеперечисленные компоненты, поэтому применяется сочетание всех указанных ферментов.

Процесс ферментативного гидролиза проводили при температуре 65 °C в течение 8 ч при постоянном перемешивании смеси. Для осуществления процесса использовался шейкер с возможностью контроля температуры и скорости вращения платформы.

В процессе ферментализации каждые 2 ч отбирали пробы, в которых определяли содержание растворимых сахаров рефрактометрическим методом с применением рефрактометра АТС-40.

По окончании процесса образцы смеси переносили на водяную баню и нагревали до 80° в течение 15 мин для пастеризации смесей и инактивации ферментов. Далее смеси фракционировались центрифугированием (3900 об/мин; 10 мин), при этом наблюдалась их хорошее разделение на жидкую и осадочную фракции. В жидкой части после очистки определяли содержание сухих веществ с применением анализатора влажности OHAUS MB23, после чего ее направляли на обезвоживание.

Осадочную фракцию подвергали конвекционной сушке при температуре 55°, после чего измельчали на измельчителе High Speed Multifunction Grinder Machine. В полученном мелкодисперсном порошке определяли содержание влаги по ГОСТ 28561-90, содержание аскорбиновой кислоты – йодометрическим методом согласно ГОСТ 4815-76, веществ с Р-витаминной активностью – пермарганатометрическим методом (Степанцова, 2023), минеральных веществ – с помощью определения золы по ГОСТ 25555.4-91, пектиновых веществ – модифицированным методом (Ключко, 2017), пищевых волокон – с применением инфракрасной спектроскопии на ИК-Фурье-спектрометре ФТ-801 с обработкой спектров в программе ZaiR 3.5 (Казаченко, 2019).

Перед обезвоживанием жидкой фракции к ней добавляли карбоксиметилцеллюлозу (КМЦ) в количестве 2 % при предварительном нагреве на водяной бане до температуры 50°. Внесение КМЦ обосновано необходимостью повышения адгезионно-когезионной способности жидкой фракции и улучшения ее обезвоживания при последующей сублимационной сушке, которую проводили на установке Martin Christ Alpha1-2 LDplus (температура –55 °С). В итоге получали водорастворимую добавку в форме тонкодисперсного порошка.

В полученных добавках определяли органолептические показатели описательным методом (ГОСТ 8756.1-2017).

Результаты и обсуждение

Первичный анализ биопотенциала по химическому составу и содержанию БАВ использованных ФРОВПК проводили на основе литературных и справочных данных (табл. 3).

Таблица 3. Химический состав и биопотенциал некондиционных фруктов и овощей и их смесей (г на 100 г) (Химический..., 2002)
Table 3. Chemical composition and biopotential of substandard fruits and vegetables and their mixes (g per 100 g) (Chemical..., 2002)

Содержание	Яблоки	Бананы	Апельсины	Картофель	Огурцы	Помидоры	Морковь
Вода, г	86,3	74,0	86,8	78,6	95,0	92,0	88,0
Белки, г	0,4	1,5	0,9	2,0	0,8	1,1	1,3
Жиры, г	0,4	0,5	0,2	0,4	0,1	0,2	0,1
Углеводы, г	9,8	21,0	8,1	16,3	2,5	3,8	6,9
Моно- и дисахариды, г	9,0	19,0	8,1	1,3	2,4	3,5	6,7
Крахмал, г	0,8	2,0	–	15,0	0,1	0,3	0,2
Пищевые волокна, г	1,8	1,7	2,2	1,4	1,0	1,4	2,4
Органические кислоты, г	0,8	0,4	1,3	0,2	0,1	0,8	0,3
Зола, г	0,5	0,9	0,5	1,1	0,5	0,7	1,0
Витамины							
А, мкг	–	–	–	–	–	–	–
β-каротин, мг/мкг ¹	30	120	50	20	20	800	12000
В ₁ , мг	0,03	0,04	0,04	0,12	0,03	0,06	0,06
В ₂ , мг	0,02	0,05	0,03	0,07	0,02	0,04	0,07
РР, мг	0,3	0,6	0,2	1,3	0,2	0,5	1,0
С, мг	10,0	10,0	60,0	20,0	7,0	25,0	5,0
Е, мг	0,2	0,4	0,2	0,12	0,1	0,7	0,4
Минеральные вещества							
Na, мг	26	31	13	5	8	3	21
K, мг	278	348	197	568	141	290	200
Ca, мг	16	8	34	10	23	14	27
Mg, мг	9	42	13	23	14	20	38
P, мг	11	28	23	58	42	26	55
Fe, мкг/мг ²	2,2	0,6	0,3	0,9	0,6	0,9	0,7

Примечание. 1 – содержание для овощей представлено в мкг; 2 – содержание для фруктов представлено в мкг.

Из данных табл. 3 видно, что исходное растительное сырье отличается высоким содержанием углеводов (фрукты: бананы – 21 г/100 г; овощи: картофель – 16,3 г/100 г), богато различными витаминами – А, группы В, С и Е; микроэлементами – К, Na, P, Mg и Fe.

Известно, что при ферментации значительная часть биологически активных веществ сохраняет свою химическую природу и биологические эффекты. Поэтому в результатах исходили из базовой научной гипотезы, что обе получаемые добавки будут содержать БАВы в повышенном (концентрированном) количестве, распределяясь между фракциями в зависимости от растворимости образующихся веществ.

Таким образом предполагали в водорастворимой добавке повышенное количество моно-, ди- и олигосахаров, минеральных веществ и водорастворимых витаминов. В осадочной водорастворимой фракции потенциально должны содержаться пищевые волокна, а также ряд витаминов, минеральных и других биологически активных соединений.

Общий химический состав композиций ФРОВПК, использованных в эксперименте, приведен в табл. 4.

Таблица 4. Содержание макронутриентов в растительных композициях из исследованных ФРОВПК, %

Table 4. The content of proteins, fats and carbohydrates in plant compositions in the studied substandard fruit and vegetables, %

Содержание	Фруктовая смесь	Овощная смесь	Фруктово-овощная смесь
Вода	83,3	85,9	85,7
Белки	0,8	1,4	1,1
Жиры	0,3	0,2	0,2
Углеводы	12,2	9,7	10,2
Пищевые волокна	1,1	0,9	1,0
Пектиновые вещества	0,9	0,4	0,6
Минеральные вещества	1,4	1,5	1,2

Из данных в табл. 4 можно видеть, что растительные композиции содержат много воды, в них мало белка и жира, они богаты углеводами и минеральными веществами. Фруктово-овощная и фруктовая смеси имеют наиболее высокое содержание углеводов (10,2 и 12,2 % соответственно), в основном представленных моно-, ди- и олигосахаридами, в них также несколько повышено содержание пищевых волокон (1,6 и 2,0 %), представленных пектином и целлюлозой (*Химический...*, 2002).

В процессе ферментативной обработки под действием карбогидраз происходило количественное накопление простых сахаров, образующихся из углеводов растительных смесей. Динамика накопления водорастворимых сахаров в ферментируемых смесях ФРОВПК представлена на рис. 2.

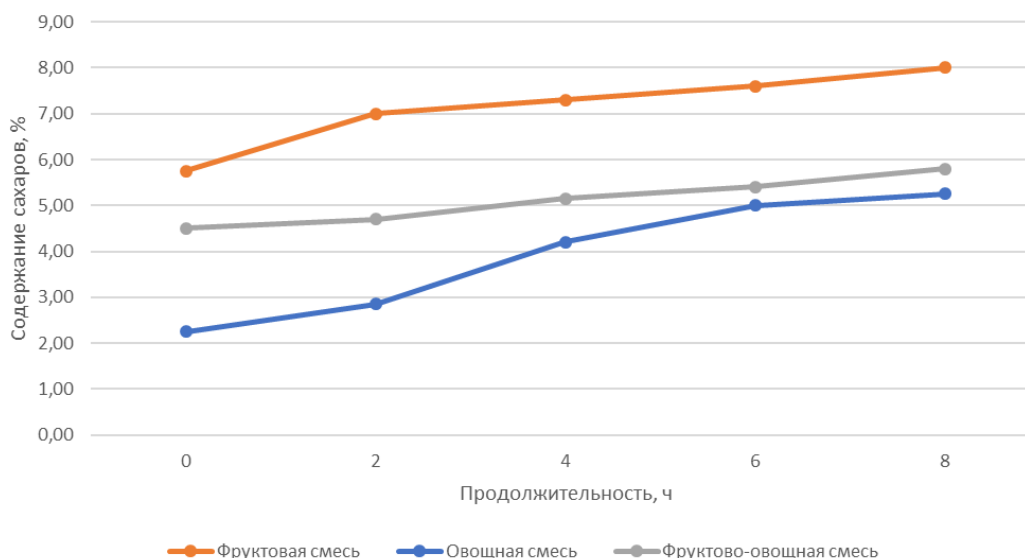


Рис. 2. Динамика накопления сахаров в смесях ФРОВПК в зависимости от продолжительности ферментализации
Fig. 2. Dynamics of sugar accumulation in mixes of fruits and vegetables depending on the duration of fermentation

Из представленных на рис. 2 данных видно, что наибольшее накопление водорастворимых сахаров происходит во фруктовой смеси, что обусловлено особенностями составов фруктового сырья и природно

высоким содержанием в них простых и олигосахаридов (табл. 3). При этом в овощной смеси установлено наименьшее накопление сахаров при ферментации, что связано с преобладанием в их составе нерастворимых целлюлозы и пектина, а также высокомолекулярного полисахарида крахмала.

С учетом полученных данных можно сделать вывод, что ферменты целлюлаза и β-глюканаза обладают наибольшей эффективностью и скоростью действия, что обусловлено химическим составом используемого сырья (большое содержание моно- и олигосахаридов, содержание целлюлозы в клеточных стенках и кожуре). Амилаза и глюкоамилаза показали низкую эффективность, что объясняется доминированием крахмала в составе сырья, которому требуется более интенсивный и продолжительный ферментативный гидролиз. Фруктово-овощная смесь, содержащая все вышеперечисленные ферменты, демонстрирует промежуточные результаты, поскольку сочетает в себе как фруктовые, так и овощные компоненты.

В процессе получения порошкообразных добавок анализировали показатели, обуславливающие выход готовых продуктов и их характеристики по содержанию воды и сухих веществ (табл. 5).

Таблица 5. Характеристики водорастворимой и водонерастворимой добавок из ФРОВПК
Table 5. Characteristics of water-soluble and water-insoluble additives derived from fruits and vegetables

Показатель	Фруктовая смесь	Овощная смесь	Фруктово-овощная смесь
Водорастворимая добавка			
Объем жидкой фракции гидролизата, мл (до внесения КМЦ)	190,5	223,0	414,5
Содержание сухих веществ, %	6,0	3,2	4,2
Масса продукта после сушки, г	35,5	38,4	53,9
Содержание воды в порошке, %	6,5	7,2	6,4
Выход продукта, % к массе сырья	14,2	15,4	12,8
Водонерастворимая добавка			
Масса нерастворимой фракции гидролизата до сушки, г	226,4	202,5	399,2
Масса после сушки, г	24,9	19,0	33,2
Содержание воды в порошке, %	12,6	10,3	12,4
Выход продукта, % к массе сырья	10,0	7,6	7,9

На основании приведенных в табл. 5 данных можно видеть, что по физическим характеристикам (содержание сухих веществ, выход продукта) полученные порошкообразные продукты близки. Наименьший выход водонерастворимой добавки с наименьшим содержанием воды наблюдается в овощной смеси, что может быть объяснено повышенным содержанием воды в сырье и пониженным – сухих веществ, в том числе пищевых волокон (табл. 4). Наибольший выход твердой фракции установлен для фруктовой смеси, что обусловлено несколько меньшей влажностью сырья, а также повышенным содержанием пектина, целлюлозы и гемицеллюлозы в кожуре фруктов, устойчивых к ферментам и обладающих повышенной влагоудерживающей способностью.

В полученных порошках было исследовано содержание биологически активных соединений. Результаты оценки витамина С, веществ с Р-витаминной активностью (флавоноиды: флавонолы, флаван-3-олы, изофлавоноиды и др.), обладающих антиоксидантной активностью, а также пищевых волокон и минеральных веществ, выполняющих важные физиологические функции в организме человека, приведены в табл. 6. Все названные вещества относятся к функциональным пищевым ингредиентам с доказанным благотворным физиологическим эффектом, присутствие которых в пищевых продуктах желательно и при количестве более 15 % суточной нормы обуславливает их функциональность (ГОСТ Р 52349-2005; ГОСТ Р 54059-2010).

Таблица 6. Содержание функциональных пищевых ингредиентов в полученных пищевых добавках и степень удовлетворения в них относительно установленных физиологических потребностей
Table 6. The content of vitamin C, substances with vitamin P activity, dietary fibers, and ash in water-soluble and water-insoluble additives, as well as the percentage of their compliance with established physiological norms

Образец	Витамин С		Витамин Р		Пищевые волокна	
	Содержание, мг/100 г	% удовлетв. от УСФП ¹ / СФПП ²	Содержание, мг/100 г	% удовлетв. от УСФП / СФПП	Содержание, мг/100 г	% удовлетв. от УСФП / СФПП
Водорастворимая добавка						
Фруктовая смесь	72,0	80,0 / 36,0	122,4	244,2 / 61,2	–	–
Овощная смесь	65,6	72,9 / 32,8	13,6	27,2 / 6,8	–	–

Фруктово-овощная смесь	126,7	140,8 / 63,3	259,7	518,0 / 129,9	–	–
Водонерастворимая добавка						
Фруктовая смесь	13,2	14,7 / 6,6	36,5	73,0 / 18,2	15,6	52,0 / –
Овощная смесь	8,8	9,8 / 4,4	2,0	4,0 / 1,0	13,2	44,0 / –
Фруктово-овощная смесь	15,4	17,1 / 7,6	72,3	144,6 / 36,1	17,4	58,0 / –

Примечание. 1 – УСФП – установленная суточная физиологическая потребность согласно МР 2.3.1.0253-21; 2 – СФПС – суточная физиологическая потребность для спортсменов (*Bojanic et al., 2011; Эллер и др., 2020*).

Из данных табл. 6 видно, что водорастворимые добавки отличаются повышенным содержанием витамина С: наибольшее содержание во фруктово-овощной смеси – 126,7 мг/100 г, что составляет 140,8 % от суточной потребности среднестатистического человека (МР 2.3.1.0253-21) и 63,3 % от суточной потребности для спортсменов (*Bojanic et al., 2011*). Наименьшее содержание витамина С отмечается в овощной смеси (32,8 мг/100 г), что обуславливается его пониженным содержанием в данном сырье изначально. Содержание веществ с Р-витаминной активностью (в пересчете на рутин) в наибольшем количестве наблюдается во фруктовой и фруктово-овощной смесях (соответственно 122,4 и 259,7 мг/100 г), что также обусловлено их повышенным содержанием в сырье.

Стоит отметить высокое содержание пищевых волокон в водонерастворимых добавках, особенно полученных из фруктовой и фруктово-овощной смесей (15,6 и 17,4 г/100 г). При их ежедневном употреблении в количестве 100 г физиологическая норма потребности в пищевых волокнах будет удовлетворяться соответственно на 52,0 и 58,0 %.

Исходя из полученных данных и действующих технических документов (ГОСТ Р 52349-2005 и ГОСТ Р 55577-2013), можно сделать вывод, что полученные водорастворимые и водонерастворимые добавки при употреблении в сутки 100 г будут обеспечивать поступление в организм исследованных функциональных ингредиентов от 9,8 до 140,8 % суточной потребности для обычного человека и от 4,4 до 63,3 % для спортсменов скоростно-силовых видов спорта.

По этим показателям добавки можно отнести к функциональным пищевым продуктам и рекомендовать употреблять многим группам населения для компенсации дефицита данных БАВ, а также спортсменам, организм которых требует повышенного поступления установленных функциональных пищевых ингредиентов.

Качественный состав пищевых волокон и других полисахаридов в водонерастворимой добавке устанавливали по ИК-спектрам (рис. 3).

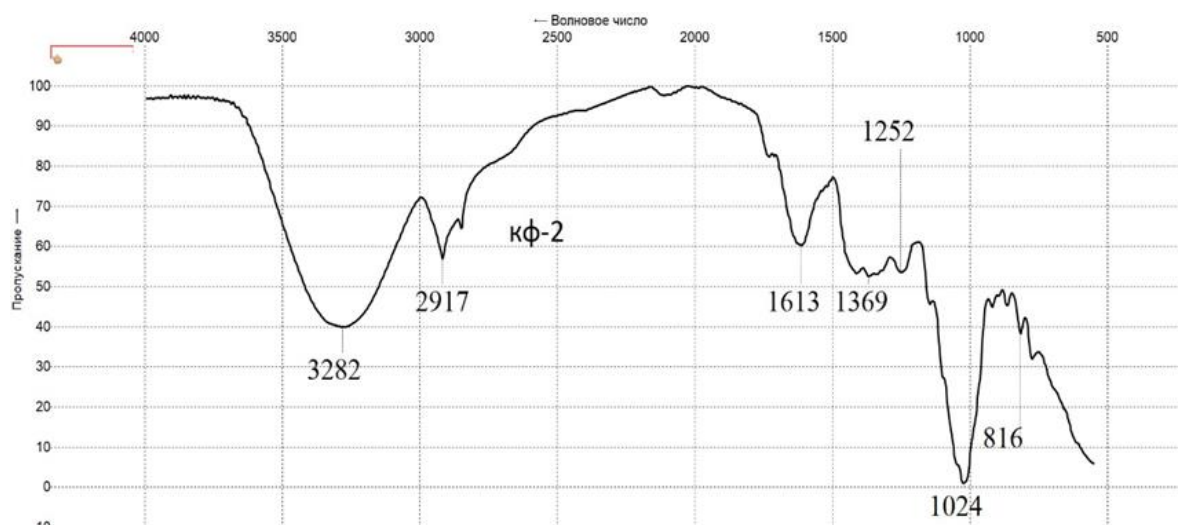


Рис. 3. ИК-спектр образца фруктово-овощной добавки
 Fig. 3. The IR spectrum of a fruit and vegetable additive sample

Сравнение спектральных характеристик образцов позволяет выявить основные компоненты пищевых волокон, а именно целлюлозу, крахмал, гемицеллюлозу и некоторые олигосахариды. Наблюдаемые

спектральные особенности свидетельствуют о преобладании целлюлозы в структуре образцов. В спектрах инфракрасного (ИК) поглощения всех образцов выявлены интенсивные полосы поглощения в области $2930\text{--}2910\text{ см}^{-1}$ и $1360\text{--}1250\text{ см}^{-1}$, которые соответствуют валентным колебаниям C–H в метиленовом фрагменте целлюлозы. Характерный ИК-спектр целлюлозы включает в себя поглощения, в основном, трех гидроксильных групп, присутствующих в каждом глюкопиранозном звене. Наличие гидроксильных групп, входящих в состав вторичных спиртов, подтверждается обнаружением пиков в диапазоне $3200\text{--}3300\text{ см}^{-1}$, соответствующих валентным колебаниям атомов O–H и образованию внутримолекулярных и межмолекулярных водородных связей (Тарасенко и др., 2012; Cichosz et al., 2019).

Для рекомендации использования полученных порошков в качестве пищевых добавок была проведена их органолептическая оценка. Терминологические описания основных показателей качества, свидетельствующие о гастрономических достоинствах полученных добавок, приведены в табл. 7.

Таблица 7. Органолептические показатели полученных пищевых добавок
Table 7. Organoleptic parameters of the obtained food supplements

Показатель добавки		Фруктовая смесь	Овощная смесь	Фруктово-овощная смесь
Цвет	Водорастворимая	Светло-коричневый с желтым оттенком		
	Водонерастворимая	Коричневый	Светло-коричневый	Коричневый
Внешний вид	Водорастворимая	Тонкодисперсный порошок		
	Водонерастворимая	Мелкий порошок		
Запах	Водорастворимая	Приятный, нейтральный, свойственный данной смеси, без порочащих и неприятных признаков		
	Водонерастворимая	Приятный, фруктовый, свойственный данной смеси, с отчетливыми оттенками аромата банана и апельсина	Приятный, овощной, свойственный данной смеси, с некоторыми оттенками запаха помидор	Приятный, сложный, свойственный данной смеси, с цитрусовыми и овощными оттенками
Вкус	Водорастворимая	Приятный, характерный для используемой смеси, слегка желирующий при формировании пищевого комка		
	Водонерастворимая	Приятный, фруктовый, характерный для используемой смеси, немного вяжущий, с легкой горечью	Приятный, овощной, характерный для используемой смеси, немного вяжущий, с небольшой кислинкой	Приятный, сложный, характерный для используемой смеси, с привкусом фруктов и овощей (цитрусовые, помидоры), немного вяжущий

Анализируя полученные данные, можно сформулировать следующие рекомендации по применению полученных добавок из ФРОВПК. Фруктовые водорастворимые и водонерастворимые добавки, обладающие сладковатыми привкусами и ароматами, могут найти свое применение в качестве компонентов кондитерских изделий, продуктов для детей и подростков, а также в спортивном питании (протеиновых батончиках, гейнерах, различных коктейлях) в качестве натуральной вкусо-ароматической добавки и источника БАВ с антиоксидантными, иммуномодулирующими и другими полезными свойствами. Овощная и фруктово-овощная добавки, характеризующиеся многогранными органолептическими оттенками и повышенным содержанием пищевых волокон и других БАВ (витаминами А, группы В, С, Р; минеральными веществами; минорными компонентами), могут найти свое применение в самых разнообразных пищевых продуктах (кондитерские изделия, кисломолочная продукция, мясные и рыбные полуфабрикаты и др.), а также в специализированных продуктах профилактического направления в качестве источников компонентов с пребиотическими свойствами.

С учетом данных по содержанию биологически активных веществ полученные добавки можно отнести к функциональным пищевым продуктам (ГОСТ Р 55577-2013) и рекомендовать к использованию в качестве обогащающих компонентов в составе проектируемых функциональных и специализируемых продуктов самого широкого спектра (для спортсменов, лиц пожилого возраста, школьников и студентов, работников интеллектуального и тяжелого физического труда и т. д.). Как источники натуральных усвояемых сахаров они могут быть рекомендованы в составе продуктов, предназначенных для больных диабетом или расположенных к этому заболеванию.

Стоит отметить возможное применение полученных порошкообразных продуктов в спортивном питании. Высокое содержание углеводов, содержание антиоксидантов (витамины С и Р), пищевых волокон – все это может обеспечить их применение в производстве различных спортивных продуктов (гейнеры, витаминные комплексы, отдельные добавки, батончики и каши).

Полученные пищевые добавки могут также найти применение в косметической индустрии, например, в качестве активных компонентов в питательных и омолаживающих кремах, лосьонах и масках. В микробиологической сфере добавки могут быть использованы как составляющие питательных сред для выращивания различных микроорганизмов. В фармацевтической промышленности эти добавки возможно использовать в составе наполнителей для таблеток, экстрактов и гелей, обеспечивая стабилизацию качества и эффективность действия. Благодаря наличию функциональных пищевых ингредиентов они могут быть интегрированы в рецептуры биологически активных добавок (БАД) к пище самого широкого спектра действия (антиоксидантного, иммуномодулирующего, пребиотического и др.), оказывающих профилактическое действие против многих неинфекционных заболеваний или так называемых "болезней цивилизации".

Заключение

В результате проведенных исследований:

1) проанализирован процесс комплексной переработки фруктов и овощей пониженного по внешним признакам качества, основанной на ферментативном гидролизе, фракционировании и обезвоживании, с получением натуральных пищевых добавок двух видов (водорастворимой и водонерастворимой), обладающих повышенной биологической ценностью;

2) обоснован выбор фруктов и овощей, наиболее подверженных быстрой порче, с учетом их региональной доступности, актуальности для торговых сетей и потребительской востребованности: яблоки, бананы, апельсины, картофель, морковь, помидоры и огурцы. Показан химический состав и биопотенциал используемого растительного сырья и их различных композиций по содержанию биологически активных веществ;

3) показана динамика накопления водорастворимых сахаров и сухих веществ, а также выход обезвоженных добавок в процессе ферментативного гидролиза смесей некондиционного растительного сырья с применением различных карбоксигидраз (целлюлаза, β -глюканаза, амилаза и глюкоамилаза). Установлено, что целлюлаза и β -глюканаза проявляют наивысшую эффективность по содержанию сахаров в ферментированных растительных композициях;

4) охарактеризованы органолептические показатели полученных порошков. Доказано, что они обладают приятными сенсорными характеристиками, позволяющими применять их в качестве натуральных полифункциональных пищевых добавок с привнесением специфических гастрономических привкусов.

Благодарности

Авторский коллектив выражает признательность торговым сетям Калининградской области "SPAR" и "Виктория" за предоставленное сырье, а также преподавателям кафедры химии ФГБОУ ВО "Калининградский государственный технический университет" кандидату технических наук Воронникову Б. Ю. и Булычеву А. Г. за помощь в проведении лабораторных анализов.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Библиографический список

- Ажгиревич А. И., Монастырский Д. И., Куликова М. А., Грибут Е. А. [и др.]. Комплексное использование отходов плодоовощного производства при сушке органоминерального удобрения // Проблемы региональной экологии. 2022. № 2. С. 107–114. DOI: 10.24412/1728-323X-2022-2-107-113. EDN: GKNFRY.
- Березенко Н. В., Слинко О. В., Кондратьева О. В., Актуальные направления в области переработки и хранения плодоовощной продукции // Пищевая индустрия. № 2. 2018. С. 52–54.
- Валеева С. А., Ильгамова Л. Ф., Якупова Н. А., Хайрулина С. Н. [и др.]. Оценка утилизации отходов в Российской Федерации // Международный журнал гуманитарных и естественных наук. 2021. № 5–2(56). С. 11–14. DOI: 10.24412/2500-1000-2021-5-2-11-14. EDN: GVYBGU.
- Волкова А. В. Рынок утилизации отходов. М. : Центр развития НИУ ВШЭ, 2018. 87 с.
- Дубцов Г. Г. Товароведение продовольственных товаров. М. : Академия, 2012. 336 с.
- Ибрашева Л. Р., Обухова Н. И., Быстренина И. Е., Малова Н. Н. [и др.]. Основные экспортируемые в мире свежие фрукты и овощи // International agricultural journal. 2023. Т. 66, № 3. Номер статьи: 24. DOI 10.55186/25876740_2023_7_3_25. EDN: MXXLJP.
- Искусственные корма для быстрого роста *Drosophila melanogaster* : пат. № 114009599 Китай / Лю Тун и др. № 202111402493.8 ; заявл. 24.11.2021 ; опублик. 08.02.2022.

- Кадысева А. А., Козловцева О. С. Биоэнергетический потенциал органосодержащих отходов агропромышленного комплекса на примере Тюменской области // Журнал прикладных исследований. 2021. № 2–1. С. 29–33. DOI: https://doi.org/10.47576/2712-7516_2021_2_1_29. EDN: YHICWY.
- Казаченко Ал. С., Казаченко А. С., Чаплыгина И. А. Применение ИК-спектроскопии в анализе зерна // Вестник КрасГАУ. 2019. № 9. С. 134–142.
- Капитонов И. А., Пармененков К. Н., Бронская Ю. К. Актуальные методы утилизации бытовых отходов // Инновации и инвестиции. 2023. № 1. С. 246–253. EDN: UUMNYU.
- Ким В. В., Галактионова Е. А., Антонец К. В. Продовольственные потери и пищевые отходы на потребительском рынке РФ // International Agricultural Journal. 2020. Т. 63, № 4. С. 1–20. DOI: 10.24411/2588-0209-2020-10191. EDN: EEEFFC.
- Ключко Н. Ю. Методы научных исследований. Калининград : Изд-во КГТУ, 2017. 85 с.
- Колесников Р. В. Пищевые отходы – оценка объема образования в России, особенности и перспективы утилизации // WORLD OF SCIENCE: сб. ст. II Международный науч.-практ. конф., Пенза, 30 января 2023 г. Пенза : Наука и Просвещение, 2023. С. 152–155. EDN: TRHUOZ.
- Комплекс оборудования и способ безотходной переработки биоразлагаемых муниципальных отходов : пат. № 038561 ЕА Рос. Федерация / М. Марынач, В. Веселовски, № 201992620 ; заявл. 08.06.2018 ; опубл. 15.09.2021.
- Неменушая Л. А. Современные технологии хранения и переработки плодоовощной продукции : науч. аналит. обзор. Москва : Росинформагротех, 2009. 170 с.
- Метод и система для биохимико-термохимической многоточечной сшивающей обработки биомассы отходов : патент № 2017000444 Китай / Лу Фан, Пиньцзин Хи и др. № CN2015/092878 ; заявл. 27.10.2015; опубл. 29.06.2015.
- Потороко И. Ю., Цирульниченко Л. А., Попова Н. В., Венката М. С. Отходы пищевых производств как возобновляемые источники энергии: перспективность и технологические решения // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Сер. Пищевые и биотехнологии. 2021. Т. 9, № 2. С. 16–25. DOI: 10.14529/food210202. EDN: VHAPJU.
- Сбитнева О. А. Влияние стиля питания на состояние здоровья, физической и умственной работоспособности // Международный журнал гуманитарных и естественных наук. 2019. № 2–1. С. 154–156. DOI: 10.24411/2500-1000-2019-10555. EDN: ZFTIFI.
- Способ культивирования личинок синантропных мух : пат. 2788843 Рос. Федерация / О. Н. Сороколетов, В. В. Еременко, К. В. Жучаев ; № 2022105268 ; заявл. 25.02.2022; опубл. 24.01.2023. Бюл. № 3.
- Способ производства порошка пищевых продуктов : пат. 2535944 Рос. Федерация / П. В. Еременко, Д. И. Закиров ; № 2014102623/13; заявл. 28.01.2014 ; опубл. 20.12.2014. Бюл. № 35.
- Степанцова Г. Е. Химия биологически активных веществ. Калининград : Изд-во КГТУ, 2023. 76 с.
- Тарасевич Б. Н. ИК-спектры основных классов органических соединений. Справочные материалы. М. : Изд-во МГУ, 2012. 55 с.
- Химический состав российских пищевых продуктов : справочник / под ред. И. М. Скурихина, В. А. Тутельяна. М. : ДеЛи принт, 2002. 235 с.
- Шайхиев И. Г., Свергузова С. В., Сапронова Ж. А., Антюфеева Е. С. Использование пищевых отходов для выращивания личинок мухи *Hermetia illucens* (краткий обзор зарубежной литературы) // Экономика строительства и природопользования. 2020. № 4(77). С. 17–30. DOI: <https://doi.org/10.37279/2519-4453-2020-4-17-30>. EDN: ANKFLE.
- Шевякова Л. В., Махова Н. Н., Бессонов В. В., Акимов М. Ю. [и др.]. Макро- и микроэлементный состав фруктов и ягод российской селекции // Пищевая промышленность. 2014. № 3. С. 44–46. EDN: RWFTKV.
- Эллер К. И., Перова И. Б., Рылина Е. В., Аксенов И. В. Биологически активные вещества // Нутрициология и клиническая диетология. Национальное руководство / под ред. В. А. Тутельяна, Д. Б. Никитюка. М. : ГЭОТАР-Медиа, 2020. С. 144–161.
- Bancal V., Ray R. C. Overview of food loss and waste in fruits and vegetables: From issue to resources // Fruits and Vegetable Wastes / eds.: R. C. Ray. Springer, Singapore, 2022. P. 3–29. DOI: https://doi.org/10.1007/978-981-16-9527-8_1.
- Bojanić V., Radović J., Bojanić Z., Lazović M. Hydrosoluble vitamins and sport ort // Acta Medica Medianae. 2011. Vol. 50, Iss. 2. P. 68–75. DOI: 10.5633/amm.2011.0213.
- Cichosz S., Masek A. Cellulose fibers hydrophobization via a hybrid chemical modification // Polymers. 2019. Vol. 11, Iss. 7. Article number: 1174. DOI: <https://doi.org/10.3390/polym11071174>.
- Fabunmi O. A., Osunde Z. D., Alababan B. A., Jigam A. A. Influence of moisture content and temperature interaction on mechanical properties of desma (*Novella pentadesma*) seed // Journal of Advances in Food Science & Technology. 2015. Vol. 2, Iss. 2. P. 81–85.
- Golshan Tafti A., Solaimani Dahdivan N., Yasini Ardakani S. A. Physicochemical properties and applications of date seed and its oil // International Food Research Journal. 2017. Vol. 24, Iss. 4. P. 1399–1406.

References

- Azhgirevich, A. I., Monastyrsky, D. I., Kulikova, M. A., Gribut, E. A. et al. 2022. Complex use of fruit and vegetable production wastes in drying of organomineral fertilizer. *Regional Environmental Issues*, 2, pp. 107–114. DOI: 10.24412/1728-323X-2022-2-107-113. EDN: GKNFRY. (In Russ.)
- Berezenko, N. V., Slinko, O. V., Kondratieva, O. V. 2018. Actual directions in the processing and storage of fruit and vegetable products. *Pishchevaya Industriya*, 2, pp. 52–54. (In Russ.)
- Valeeva, S. A., Ilgamova, L. F., Yakupova, N. A., Khairulina, S. N. et al. 2021. Assessment of waste utilization in the Russian Federation. *International Journal of Humanities and Natural Sciences*, 5–2(56), pp. 11–14. DOI: 10.24412/2500-1000-2021-5-2-11-14. EDN: GUYBGU. (In Russ.)
- Volkova, A. V. 2018. Waste utilization market. Moscow. (In Russ.)
- Dubtsov, G. G. 2012. Commodity management of food products. Moscow. (In Russ.)
- Ibrasheva, L. R., Obukhova, N. I., Bystrenina, I. E., Malova, N. N. et al. 2023. Main exported fresh fruits and vegetables in the world. *International Agricultural Journal*, 66(3). Article number: 24. DOI 10.55186/25876740_2023_7_3_25. EDN: MXXLJP. (In Russ.)
- Liu, Tong et al. 2021. Artificial feeds for rapid growth of *Drosophila melanogaster*, China, pat. 114009599. (In Chinese)
- Kadyseva, A. A., Kozlovitseva, O. S. 2021. Bioenergetic potential of organ-containing wastes of agro-industrial complex on the example of the Tyumen region. *Journal of Applied Research*, 2–1, pp. 29–33. DOI: https://doi.org/10.47576/2712-7516_2021_2_1_29. EDN: YHICWY. (In Russ.)
- Kazachenko, Al. S., Kazachenko, A. S., Chaplygina, I. A. 2019. Application of IR spectroscopy in grain analysis. *Vestnik KrasGAU*, 9, pp. 134–142. (In Russ.)
- Kapitonov, I. A., Parmenenkov, K. N., Bronskaya, Yu. K. 2023. Actual methods of household waste utilization. *Innovation & Investment*, 1, pp. 246–253. EDN: UUMNYU. (In Russ.)
- Kim, V. V., Galaktionova, E. A., Antonevich, K. V. 2020. Food losses and food waste in the consumer market of the Russian Federation. *International Agricultural Journal*, 63(4), pp. 1–20. DOI: 10.24411/2588-0209-2020-10191. EDN: EEEFFC. (In Russ.)
- Klyuchko, N. Yu. 2017. Methods of scientific research. Kaliningrad. (In Russ.)
- Kolesnikov, R. V. 2023. Food waste – assessment of the volume of formation in Russia, features and prospects of utilization. Coll. of articles II International Scientific and Practical Conference *WORLD OF SCIENCE*, Penza, January 30, 2023, pp. 152–155. EDN: TPHUOZ. (In Russ.)
- Marynychak, M., Weselowski, W. 2021. Equipment complex and method of waste-free processing of biodegradable municipal waste, Russian Federation, Pat. 038561 EA. (In Russ.)
- Nemenushchaya, L. C. 2009. Modern technologies of storage and processing of fruit and vegetable products: Scientific analytical review. Moscow. (In Russ.)
- Lu Fang, Pinjing, He et al. 2015. Method and system for biochemical-thermochemical multi-point crosslinking treatment of waste biomass, China, Pat. 2017000444. (In Chinese)
- Potoroko, I. Yu., Tsurulnichenko, L. A., Popova, N. V., Venkata, M. S. et al. 2021. Food production wastes as renewable energy sources: Availability and technological solutions. *Bulletin of South Ural State University. Series Food and Biotechnology*, 9(2), pp. 16–25. DOI: 10.14529/food210202. EDN: VHAPJU. (In Russ.)
- Sbitneva, O. A. 2019. Influence of nutrition style on health, physical and mental performance. *International Journal of Humanities and Natural Sciences*, 2–1, pp. 154–156. DOI: 10.24411/2500-1000-2019-10555. EDN: ZFTIFI. (In Russ.)
- Sorokoletov, O. N., Bgatov, A. V., Gudilin, I. I., Zhuchayev, K. V. 2023. Method of cultivation of larvae of synanthropic flies, Russian Federation, Pat. 2788843. (In Russ.)
- Eremenko, P. V., Zakirov, D. I. 2014. Method of production of foodstuff powder, Russian Federation, Pat. 2535944. (In Russ.)
- Stepantsova, G. E. 2023. Chemistry of biologically active substances. Kaliningrad. (In Russ.)
- Tarasevich, B. N. 2012. IR spectra of the main classes of organic compounds: Reference materials. Moscow. (In Russ.)
- Chemical composition of Russian food products: Reference book. 2002. Eds. I. M. Skurikhin, V. A. Tutel'yan. Moscow. (In Russ.)
- Shaikhiev, I. G., Sverguzova, S. V., Saprionova, Zh. A., Antyufeeva, E. S. 2020. Utilization of food waste for rearing larvae of the fly *Hermetia illucens*. *Construction Economic and Environmental Management*, 4(77), pp. 17–30. DOI: <https://doi.org/10.37279/2519-4453-2020-4-17-30>. EDN: ANKFLE. (In Russ.)
- Shevyakova, L. V., Makhova, N. N., Bessonov, V. V., Akimov, M. Yu. et al. 2014. Macro and trace element composition of fruits and berries of Russian selection. *Food Industry*, 3, pp. 44–46. EDN: RWFTKV. (In Russ.)
- Eller, K. I., Perova, I. B., Rylyina, E. V., Aksonov, I. V. 2020. Biologically active substances. In *Nutritionology and clinical dietetics. National leadership*. Eds. V. A. Tutel'yan, D. B. Nikityuk. Moscow, pp. 144–161. (In Russ.)

- Bancal, V., Ray, R. C. 2022. Overview of food loss and waste in fruits and vegetables: From issue to resources. In *Fruits and Vegetable Wastes*. Eds.: R. C. Ray. Springer, Singapore, pp. 3–29. DOI: https://doi.org/10.1007/978-981-16-9527-8_1.
- Bojanić, V., Radović, J., Bojanić, Z., Lazović, M. 2011. Hydrosoluble vitamins and sport ort. *Acta Medica Medianae*, 50(2), pp. 68–75. DOI: 10.5633/amm.2011.0213.
- Cichosz, S., Masek, A. 2019. Cellulose fibers hydrophobization via a hybrid chemical modification. *Polymers*, 11(7). Article number: 1174. DOI: <https://doi.org/10.3390/polym11071174>.
- Fabunmi, O. A., Osunde, Z. D., Alababan, B. A., Jigam, A. A. 2015. Influence of moisture content and temperature interaction on mechanical properties of desma (*Novella pentadesma*) seed. *Journal of Advances in Food Science & Technology*, 2(2), pp. 81–85.
- Golshan Tafti, A., Solaimani Dahdivan, N., Yasini Ardakani, S. A. 2017. Physicochemical properties and applications of date seed and its oil. *International Food Research Journal*, 24(4), pp. 1399–1406.

Сведения об авторах

Карлов Вадим Александрович – Советский пр., 1, г. Калининград, Россия, 236022;
Калининградский государственный технический университет, студент;
e-mail: vaden1410@gmail.com

Vadim A. Karlov – 1 Sovetskiy Ave., Kaliningrad, Russia, 236022;
Kaliningrad State Technical University, Student; e-mail: vaden1410@gmail.com

Гольбрайх Анна Алексеевна – Советский пр., 1, г. Калининград, Россия, 236022;
Калининградский государственный технический университет, студент; e-mail: feijinlan@gmail.com

Anna A. Golbraikh – 1 Sovetskiy Ave., Kaliningrad, Russia, 236022;
Kaliningrad State Technical University, Student; e-mail: feijinlan@gmail.com

Мезенова Ольга Яковлевна – Советский пр., 1, г. Калининград, Россия, 236022;
Калининградский государственный технический университет, д-р техн. наук, профессор;
e-mail: mezenova@klgtu.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4716-2571>

Olga Ya. Mezenova – 1 Sovetskiy Ave., Kaliningrad, Russia, 236022;
Kaliningrad State Technical University, Dr Sci. (Engineering), Professor;
e-mail: mezenova@klgtu.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4716-2571>

Нормативные документы, использованные в статье

ГОСТ 25555.4-91	Продукты переработки плодов и овощей. Методы определения золы и щелочности общей и водорастворимой золы. М., 2011.
ГОСТ 28561-90	Продукты переработки плодов и овощей. Методы определения сухих веществ или влаги. М., 2011.
ГОСТ 4815-76	Кислота аскорбиновая пищевая. Технические условия. М., 1979.
ГОСТ 57976-2017	Фрукты и овощи свежие. Термины и определения. М., 2017.
ГОСТ 8756.1-2017	Продукты переработки фруктов, овощей и грибов. Методы определения органолептических показателей, массовой доли составных частей, массы нетто или объема. М., 2019.
ГОСТ Р 52349-2005	Продукты пищевые. Продукты пищевые функциональные. Термины и определения. М., 2008.
ГОСТ Р 54059-2010	Продукты пищевые функциональные. Ингредиенты пищевые функциональные. Классификация и общие требования. М., 2019.
ГОСТ Р 55577-2013	Продукты пищевые функциональные. Информация об отличительных признаках и эффективности. М., 2014.
МР 2.3.1.0253-21	Нормы физиологических потребностей в энергии и пищевых веществах для различных групп населения Российской Федерации. М., 2021.
СП 2.3.6.3668-20	Санитарно-эпидемиологические требования к условиям деятельности торговых объектов и рынков, реализующих пищевую продукцию. М., 2020.

УДК 664.959.5

Оценка пищевой ценности сублимированных гидролизатов, полученных из кожи рыб

В. С. Казакова*, Е. С. Землякова

*Калининградский государственный технический университет, г. Калининград, Россия;

e-mail: viktoriya.kazakova@klgtu.ru

Информация о статье

Реферат

Поступила в редакцию 08.04.2024;

получена после доработки 16.05.2024;

принята к публикации 11.06.2024

Ключевые слова:

кожа рыб, коллагеновые белки, высушенные добавки, ферментализ, аминокислоты, пептиды

Белковые гидролизаты имеют широкий спектр применения в пищевой промышленности. Добавки, полученные методом ферментализации коллагенсодержащих вторичных рыбных отходов (кожи рыб), подвергались сублимационному высушиванию. В сублимированных протеиновых добавках установлено содержание белка: 95,4/100 г (в гидролизатах из кожи минтая); 94,8 (из кожи трески); 92,5 г/100 г (из кожи судака). Аминокислотный состав добавок включает глицин, пролин, валин, лизин, аргинин. Сравнение аминокислотного состава с эталонным белком демонстрирует высокую степень удовлетворения суточной потребности в аминокислотах. Коэффициент утилитарности аминокислотного состава свидетельствует о сбалансированности аминокислот, определяющей биологическую ценность добавок из кожи минтая (88,67 %), трески (86,65), судака (79,68 %). Протеиновые добавки содержат низкомолекулярные пептиды, обладающие биологически активными свойствами. Оценка показателя безвредности проведена с использованием простейших организмов: рост, размножение и отсутствие гибели клеток инфузории *Tetrachymena pyriformis* свидетельствуют о безвредности и высокой биологической ценности белка протеиновых добавок. Полученные пищевые добавки предложено использовать в производстве продуктов спортивного питания.

Для цитирования

Казакова В. С. и др. Оценка пищевой ценности сублимированных гидролизатов, полученных из кожи рыб. Вестник МГТУ. 2024. Т. 27, № 3. С. 316–327. DOI: <https://doi.org/10.21443/1560-9278-2024-27-3-316-327>.

Evaluation of the nutritional value of freeze-dried hydrolysates obtained from fish skin

Victoria S. Kazakova*, Evgenia S. Zemlyakova

*Kaliningrad State Technical University, Kaliningrad, Russia;

e-mail: viktoriya.kazakova@klgtu.ru

Article info

Received 08.04.2024;

received in revised 16.05.2024;

accepted 11.06.2024

Key words:

fish skin, collagen proteins, dried supplements, enzymolysis, amino acids, peptides

Abstract

Protein hydrolysates have a wide range of applications in the food industry. The additives obtained by enzymolysis of collagen-containing secondary fish waste (fish skin) have been freeze-dried. The following protein content is established in freeze-dried protein additives: 95.4/100 g (in pollock skin hydrolysates); 94.8 (cod skin); 92.5 g/100 g (pike-perch skin). The amino acid composition of the additives includes glycine, proline, valine, lysine, and arginine. Comparison of the amino acid composition with the reference protein demonstrates a high degree of satisfaction of the daily requirement for amino acids. The utility coefficient of the amino acid composition indicates a balance of amino acids, which determines the biological value of additives from pollock skin (88.67 %), cod (86.65 %), and pike-perch (79.68 %). Protein additives contain low-molecular peptides with biologically active properties. The assessment of the harmlessness index has been carried out using the simplest organisms: growth, reproduction and absence of death of the cells of the *Tetrachymena pyriformis* ciliate indicate the harmlessness and high biological value of the protein of protein supplements. The obtained food supplements are proposed to be used in the production of sports nutrition products.

For citation

Kazakova, V. S. et al. 2024. Evaluation of the nutritional value of freeze-dried hydrolysates obtained from fish skin. *Vestnik of MSTU*, 27(3), pp. 316–327. (In Russ.) DOI: <https://doi.org/10.21443/1560-9278-2024-27-3-316-327>.

Введение

Спортивное питание должно включать пищевые продукты с высокой биологической ценностью, способствующие восполнению запасов макро- и микроэлементов, улучшению общего состояния организма, повышению эффективности тренировок и быстрому восстановлению после физических нагрузок (*Гаврилова и др., 2017*). Спортсменам требуется большое количество высококачественного белка в рационе, поддерживающего метаболизм мышц и костей, укрепляющего нервную систему, участвующего в формировании мышечной массы и обеспечивающего высокий уровень физической работоспособности (*Кулькова и др., 2022*). Лейцин, валин и изолейцин составляют группу аминокислот с разветвленной цепью (ВСАА); около 33 % скелетных мышц состоит из комбинации этих трех аминокислот. В отличие от других незаменимых аминокислот (НАК), ВСАА являются основным источником энергии, используемым во время тренировок. Данные аминокислоты (прежде всего лейцин) способствуют секреции инсулина, уменьшают утомляемость и болезненность мышц.

Исследования (*Авилова и др., 2015; Бастриков, 2009; Jäger et al., 2017*) доказывают, что потребность в белке для достижения спортивных результатов (особенно в процессе силовых тренировок) высока, однако углеводы в питании выступают как незаменимый источник энергии. Углеводы поступают из гликогена, хранящегося в мышцах, а также из глюкозы в кровотоке, и являются предпочтительным субстратом во время высокоинтенсивных упражнений и работы на выносливость.

Спортивное питание – один из наиболее быстрорастущих сегментов рынка пищевых добавок и функциональных продуктов питания (*Николаева и др., 2019*). Для людей, ведущих активный образ жизни или профессионально занимающихся спортом, перспективными направлениями являются создание обогащенных продуктов, повышение содержания белков и углеводов, добавление пищевых волокон и витаминов.

Сывороточный протеин используется как сырье в технологиях продуктов спортивного питания (*Коротелева и др., 2020*) и представляет собой высококачественный белок с высоким содержанием незаменимых аминокислот. Однако рост населения планеты в сочетании с растущей ограниченностью ресурсов привел к необходимости поиска альтернативных источников белка. В качестве такого альтернативного источника в спортивном питании может выступать гидролизат вторичного рыбного сырья, а именно покровных тканей рыб (*Казакова и др., 2024a*). Сырье (кожа рыб), получаемое при переработке рыб на филе, вызывает интерес с экономической точки зрения, поскольку считается дешевым побочным продуктом, и с точки зрения достижения высоких спортивных результатов, так как содержит незаменимые аминокислоты. Кроме того, коллагеновые белки продемонстрировали ряд важных биологических свойств, таких как антиоксидантная, противораковая, противодиабетическая, кардиопротекторная активность и др. (*Антипова и др., 2016; Duan et al., 2009; Bao et al., 2018*). Перечисленные преимущества делают коллагеновые протеиновые гидролизаты перспективным сырьем для использования в технологиях продуктов спортивного питания.

Исследования процесса производства гидролизатов рыбного белка показывают, что свойства гидролизатов зависят от гидролитического процесса и условий реакции, а также от используемых субстратов и ферментов (*Цибизова и др., 2009*). Ферментативный гидролиз применяется в качестве основного метода переработки кожи рыб (трески, судака, минтая) в ценные продукты спортивного питания. Этот метод позволяет создавать протеиновые добавки, обеспечивающие питательные и физико-химические свойства, превосходящие свойства исходного белка. Ферментативный гидролиз – лучший способ гидролизовать кожу без потери пищевой ценности, поскольку процесс гидролиза не оставляет в продуктах остаточных органических растворителей или токсичных химикатов.

Процесс ферментативного гидролиза для получения добавок из кожи рыб, проведенного специалистами кафедры пищевой биотехнологии Калининградского государственного технического университета, включал подготовку сырья, выбор фермента, оптимизацию параметров гидролиза, гидролиз, определение степени процесса ферментативного гидролиза, инактивирование ферментов. Для ферментативного гидролиза использовались коммерческие ферментные препараты протеолитического действия. Концентрация фермента, pH, время и температура тщательно контролировались и поддерживались на протяжении всего процесса гидролиза. Наиболее действенным для используемого субстрата определен фермент российского производства "Протозим" (бактериальная протеаза), который применялся в количестве 2,5 % к массе сырья; время гидролиза составило 3,5 ч.

Гидролизаты рыбной кожи содержат пептиды из 2–20 аминокислотных последовательностей, обладающих биологической активностью (*Баженов и др., 2023*). Например, среди естественных альтернатив антигипертензивных препаратов значительным интересом пользуются биоактивные пептиды для профилактики гипертонии и лечения начальной стадии гипертонии (*Huang et al., 2013*). Ультрафильтрация гидролизатов позволила получить фракции молекулярной массой менее 3 кДа с ингибирующей активностью ангиотензин-превращающего фермента (АПФ). Рыбная кожа является богатым источником желатина и коллагена. Желатин включает значительное количество гидрофобных аминокислот, таких как глицин, валин, аланин, пролин и гидроксипролин, и потенциально может иметь в составе ряд пептидов с мощной ингибирующей активностью в отношении перекисного окисления липидов (*Alemán et al., 2011; Чернуха и др., 2013*). Рыбы живут в среде, содержащей большое количество сапрофитных и патогенных микробов, т. е. находятся в постоянном прямом

контакте с потенциальными патогенами. Кожа рыб действует как физический барьер, обеспечивая немедленную защиту от окружающей среды, а также как химический барьер благодаря врожденным иммунным факторам – антимикробным пептидам с низкой молекулярной массой, которые имеют суммарный положительный заряд и являются амфифильными (Abuine et al., 2019).

Материалы и методы

Эксперименты проводили в лаборатории кафедры пищевой биотехнологии Калининградского государственного технического университета (КГТУ), а также в лаборатории Атлантического филиала Всероссийского научно-исследовательского института рыбного хозяйства и океанографии (АтлантНИРО). Получение протеиновых добавок (ПД) из вторичного рыбного сырья осуществляли с применением ферментализа протеолитическим ферментом российского производства "Протозим" (бактериальная протеаза). В качестве сырья использовали кожу:

- трески *Gadus morhua callarias*, добываемой преимущественно в акватории Балтийского моря;
- судака *Sander lucioperca*, вылавливаемого в водах Вислинского (Калининградского) и Куршского заливов;
- минтая *Gadus chalcogrammus*, перерабатываемого в производственном комплексе компании "Атлантис", располагающейся на территории Калининградской области.

Подготовленное сырье после очистки и промывки тщательно измельчали, смешивали с водой в соотношении 1 : 3 (до полного покрытия кожи) и нагревали до температуры 60 °С. В систему добавляли фермент "Протозим" – сухой ферментный препарат, оптимальный рабочий температурный диапазон которого составляет 55–65 °С (рН = 6,0–10,0). Фермент добавляли в количестве 2,5 % к массе сырья, рН среды = 6,5–7,5 (естественный уровень рН смеси – измельченной кожи с водой). Оптимальное время гидролиза составляло 3,5 ч. Данные параметры установлены в ходе ряда лабораторных испытаний. Для определения оптимальных дозировок фермента проводили гидролиз, используя шесть различных дозировок ферментного препарата. На основе литературных данных выбраны дозировки: 0,5; 0,1; 1,5; 2; 2,5; 3 % фермента к массе сырья. Гидромуль составлял 1 : 3 (до полного покрытия кожи). Предварительная подготовка кожи включала операции: мойку, удаление чешуи и прирезей мяса, промывание, измельчение. Смесь помещали в колбу, подогревали и вносили ферментный препарат. Продолжительность ферментализа составляла 10 ч при постоянном перемешивании. Степень эффективности выбранной дозировки и оптимальное время ферментации оценивали по накоплению формольнотитруемого азота. Дополнительные операции для поддержания рН смеси не проводились. Контроль рН на протяжении 10 ч гидролиза показал, что рН не поднималось выше 7,5, что не выходило за оптимальный диапазон работы фермента. По окончании процесса гидролиза смесь прогревали при температуре 90 °С в течение 5 мин с целью инактивации фермента. Далее полученную суспензию центрифугировали и разделяли на фракции. Плотную фракцию сушили конвекционным способом при температуре 60 °С (до массовой доли воды не более 8 %) и измельчали до порошкообразного состояния (размер частиц не более 0,05 мм). Данная белково-минеральная добавка (БМД) получила название "Минерал+" и рекомендуется для обогащения традиционных пищевых продуктов кальцием и фосфором. Жидкую фракцию подвергали лиофилизации при отрицательной температуре –55 °С на сублимационной установке Martin Christ Alpha1-2 LDplus и измельчали до порошкообразного состояния (размер частиц не более 0,02 мм) (Казакова и др., 2024б). Выбор данного способа обезвоживания позволяет максимально сохранить природу водорастворимых продуктов ферментализа (низкомолекулярных пептидов, гликозамингликанов, аминокислот и т. д.). Полученная протеиновая добавка "Пептидо+" рекомендуется для обогащения традиционных пищевых продуктов низкомолекулярными пептидами и легкоусвояемыми аминокислотами.

Исследования показателей качества полученных ПД проводились с помощью стандартных и общепринятых аналитических и физико-химических методов анализа. Статистическую обработку экспериментальных данных осуществляли методом регрессионного анализа с использованием пакетов прикладных программ Microsoft Office (Microsoft Excel 2010) при 95%-м доверительном уровне; исключение составили данные табл. 3, выполненные в лаборатории АтлантНИРО.

Общий химический состав полученных добавок проводили по ГОСТ 7636-85¹, массовую долю белка определяли арбитражным методом Кьельдаля, влагу – методом высушивания до постоянной массы.

Для установления содержания аминокислот использовали систему капиллярного электрофореза "Капель-105М", снабженную немодифицированным кварцевым капилляром (внутренний диаметр 75 мкм, эффективная длина 50 см, общая длина 60 см), источником напряжения переменной полярности и УФ-детектором.

¹ ГОСТ 7636-85. Межгосударственный стандарт. Рыба, морские млекопитающие, морские беспозвоночные и продукты их переработки. Методы анализа. Введен 01.01.1986. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200022224>.

Показатели биологической ценности полученных добавок определяли расчетным методом в соответствии с требованиями Всемирной организации здравоохранения (ВОЗ): аминокислотный скор (АКС), коэффициент различия аминокислотных скоров (КРАС), биологическая ценность (БЦ), коэффициент утилитарности.

Молекулярный фракционный состав сублимированных гидролизатов устанавливали методом высокоэффективной жидкостной хроматографии с использованием колонки Phenomenex. Метод включает разбавление и фильтрование пробы образцов, разделение на фракции и идентификацию средней молекулярной массы фракций с помощью прибора UV-Detektor (диаметр нанофильтра 214 нм).

Ускоренная биотис-оценка качества и безопасности пищевых продуктов из гидробионтов была выполнена методом биотестирования на инфузориях *Tetrahymena pyriformis*. Экспериментально исследовали возможную токсичность полученных добавок. Для исключения токсического действия ежедневно в раздавленной капле из контрольных и опытных проб под микроскопом оценивали движение, размеры, морфологические характеристики клеток инфузорий. Питательную ценность подтверждали посредством счета количества клеток инфузорий и определения продолжительности времени инкубации в сравнении с эталонным белком.

Результаты и обсуждение

Для обоснования использования сублимированных гидролизатов из вторичного коллагенсодержащего сырья в технологии производства продуктов спортивного питания необходимо изучить все характеристики полученных добавок. Первый этап исследований включает определение общего химического состава кожи рыб (табл. 1).

Таблица 1. Общий химический состав кожи рыб
Table 1. General chemical composition of fish skin

Кожа	Химический состав, %			
	Белок	Влага	Липиды	Минеральные вещества
Вылов в сентябре 2022 г.				
трески	20,30	73,61	2,02	4,07
судака	26,85	58,60	3,11	11,44
минтая	25,02	70,84	2,23	1,91
Вылов в ноябре 2022 г.				
трески	19,04	75,05	3,15	2,76
судака	24,40	64,98	2,02	8,60
минтая	25,04	66,14	6,02	2,80
Вылов в апреле 2023 г.				
трески	22,61	67,41	2,63	7,35
судака	22,20	64,06	1,66	10,08
минтая	27,60	67,38	1,72	3,30
Вылов в июле 2023 г.				
трески	20,61	74,79	0,35	4,25
судака	18,40	64,98	2,02	14,60
минтая	24,04	73,14	1,02	1,80

Разница в химическом составе сырья – кожи разных рыб – не оказала существенного влияния на составы полученных гидролизатов. В конечных высушенных добавках получено высокое содержание белка. Коллагенсодержащее рыбное сырье отличается низким содержанием жира; после проведения гидролиза жировая фракция не требует отделения, остаются лишь ее следы. Гидролизат состоял из отфильтрованной водорастворимой фракции, содержащей в основном белки. Исходя из полученных данных общего химического состава (табл. 2), можно отметить, что количество белковых веществ находится в диапазоне от 92,5 % (в ПД из кожи судака) до 95,44 % (в ПД из кожи минтая).

Таблица 2. Общий химический состав полученных ПД
Table 2. General chemical composition of the resulting protein supplement

Кожа	Химический состав ПД, %			
	Белок	Липиды	Влага	Зола
трески	94,80	0,04	3,60	1,56
судака	92,50	3,32	2,32	1,86
минтая	95,44	0,06	3,20	1,30

Количественное содержание аминокислот (АК) является важным показателем ценности полученного белка (табл. 3). Аминокислоты улучшают работоспособность, повышая секрецию анаболических гормонов,

предотвращая неблагоприятные последствия перетренированности и умственную усталость (Токаев, 2010). В настоящее время в ходе многих исследований доказан эргогенный эффект отдельных аминокислот, их различных комбинаций и некоторых специальных белковых пищевых добавок.

Таблица 3. Аминокислотный состав ПД, полученных из кожи рыб методом ферментативного гидролиза
Table 3. Amino acid of the protein supplement obtained from fish skin by enzymatic hydrolysis

Аминокислоты	Аминокислотный состав ПД из кожи, г/100 г белка					
	судака		минтая		трески	
	Результат	Погрешность	Результат	Погрешность	Результат	Погрешность
<i>незаменимые:</i>						
лейцин + изолейцин	4,6	1,2	5,6	1,5	5,3	1,4
валин	10,8	4,3	4,5	1,8	5,0	2,0
метионин	2,2	0,7	2,6	0,9	2,4	0,8
фенилаланин	2,6	0,8	2,5	0,8	2,4	0,7
лизин	5,1	1,7	5,5	1,9	5,1	1,7
треонин	3,5	1,4	3,4	1,4	3,1	1,2
<i>заменимые:</i>						
аланин	11,6	3,0	10,2	2,7	9,7	2,5
аргинин	8,0	3,2	8,5	3,4	7,4	2,9
глицин	45,6	11,8	75,9	19,7	26,1	6,8
гистидин	0,6	0,3	1,3	0,6	1,3	0,6
пролин	14,0	3,6	10,9	2,8	10,6	2,8
серин	5,3	1,4	7,2	1,9	6,7	1,8
тирозин	1,1	0,3	1,2	0,4	1,1	0,3

Гидролизаты содержат все аминокислоты, присутствующие в сырье, при этом преобладают глицин и пролин. В полученных из кожи рыб методом ферментативного гидролиза пищевых добавках основными по массе аминокислотами являются глицин, пролин, валин, лизин, аргинин. Данные АК необходимы для профилактики и поддержания опорно-двигательной системы в ходе физически активной деятельности.

Незаменимые аминокислоты – лейцин, изолейцин и валин (аминокислоты с разветвленной цепью, ВСАА) – играют решающую роль в процессе синтеза мышечного белка при построении и восстановлении мышечной ткани (Kim et al., 2013). Потребление незаменимых аминокислот помогает поддерживать рост мышц и ускоряет восстановление после напряженных тренировок.

Эргогенным эффектом обладает аминокислота аргинин, являющаяся субстратом для синтеза оксида азота – мощного эндогенного сосудорасширяющего средства, которое может улучшить кровоток и повысить выносливость. Тирозин ("предшественник" гормонов и нейромедиаторов, в частности адреналина, норадреналина и дофамина) обладает эргогенным действием (Стадник и др., 2018). Недостаточное количество этих гормонов может ограничить оптимальную физическую работоспособность.

Аминокислотный состав полученных ПД сравнивался со шкалой эталонного белка² (табл. 4).

Таблица 4. Сравнение аминокислотных составов эталонного белка и полученных ПД
Table 4. Comparison of amino acid composition and the obtained protein supplement

Аминокислота	Аминокислотный состав, г/100 г белка			
	Эталонный белок (ФАО/ВОЗ)	ПД из кожи		
		судака	минтая	трески
Изолейцин + лейцин	9,1	4,6	5,6	5,3
Лизин	4,8	5,1	5,5	5,1
Фенилаланин + тирозин	4,1	3,7	3,7	3,5
Треонин	2,5	3,5	3,4	3,1
Валин	4	10,8	4,5	5,0

Продовольственной и сельскохозяйственной организацией Объединенных Наций (ФАО) и Всемирной организацией здравоохранения (ВОЗ) разработана система оценки аминокислот и введен показатель биологической ценности пищевых белков – аминокислотный скор (АКС), рассчитываемый по каждой незаменимой аминокислоте (табл. 5).

² Dietary protein quality evaluation in human nutrition // FAO Food Nutr. Pap. 2011. Vol. 92. P. 1–66.

Таблица 5. Аминокислотный скор полученных ПД
Table 5. Amino acid score of the resulting protein supplement

Аминокислота	АКС полученных ПД из кожи, %		
	судака	минтая	трески
Изолейцин+лейцин	54,62	64,51	61,40
Лизин	114,80	120,01	112,02
Фенилаланин + тирозин	97,56	94,63	84,10
Треонин	151,20	142,40	130,80
Валин	292,01	118,00	131,75

Также к наиболее важным показателям оценки биологической ценности белка относятся коэффициент различия аминокислотного сора, биологическая ценность, коэффициент утилитарности (табл. 6). Избыточное количество незаменимых аминокислот, не используемых на пластические нужды, характеризуется коэффициентом различия аминокислотных скоров. По величине коэффициента различия аминокислотных скоров оценивают биологическую ценность белоксодержащего продукта. Коэффициент утилитарности i -й незаменимой аминокислоты является численной характеристикой, отражающей сбалансированность незаменимых аминокислот по отношению к эталону (*Надточий и др., 2015*).

Всемирной организацией здравоохранения введен показатель биологической ценности пищевых белков – аминокислотный скор (АКС или С), рассчитываемый по каждой незаменимой аминокислоте (АКС_{*i*} или С_{*i*}):

$$\text{АКС} = \frac{A_i}{A_{si}} 100 \%,$$

где A_i – содержание незаменимой i -й аминокислоты в 1 г исследуемого белка, мг/г; A_{si} – содержание i -й аминокислоты в 1 г эталонного белка, мг/г; 100 – коэффициент пересчета в %.

Избыточное количество НАК, не используемых на пластические нужды, характеризуется коэффициентом различия аминокислотных скоров, %, определяемого следующим образом:

$$\text{КРАС} = \frac{\sum_{j=1}^n (C_i - 100)}{n},$$

где C_i – скор НАК, n – количество НАК.

По величине КРАС оценивают биологическую ценность, %, белоксодержащего продукта по формуле
БЦ = 100 – КРАС.

Коэффициент утилитарности i -й НАК k_i является численной характеристикой, отражающей сбалансированность НАК по отношению к эталону:

$$k_i = \frac{C_{\min}}{C_i},$$

где C_{\min} – минимальный скор НАК оцениваемого белка по отношению к эталонному белку, доли ед.

Таблица 6. Показатели биологической ценности полученных ПД
Table 6. Indicators of the biological value of the resulting protein supplement

Показатель	ПД из кожи		
	судака	минтая	трески
Коэффициент различия аминокислотного сора, %	20,32	11,33	13,35
Биологическая ценность, %	79,68	88,67	86,65
Коэффициент утилитарности аминокислотного состава, доли ед.	0,19	0,55	0,47

Анализ данных, представленных в табл. 5 и 6, демонстрирует высокую биологическую ценность добавок из кожи судака, минтая, трески. Разница показателей минимальна, но наибольшее значение имеет добавка из кожи минтая. Коэффициент утилитарности аминокислотного состава отражает высокую степень сбалансированности аминокислот.

На следующем этапе исследований на основе полученных знаний о биологической ценности ПД устанавливали фракционный состав протеинов. Биологическая активность пептидов определяется такими свойствами, как молекулярная масса, заряд и гидрофобность (*Karami at al., 2019*). Молекулярно-массовое распределение изучали методом гель-проникающей хроматографии. Гель-проникающая хроматография представляет собой хроматографический метод, который разделяет макромолекулы в зависимости от их размера в растворе. Для определения истинной молярной массы образца требуется калибровочная кривая, построенная с использованием стандартов, имеющих химическую структуру, идентичную структуре

анализируемого образца. Данный метод отличается простотой, надежностью и воспроизводимостью и является наиболее часто используемым для определения молярной массы макромолекул.

Доля низкомолекулярных белков (менее 10 кДа) в гидролизате из кожи трески составляет 75,93 %; самая большая фракция (1–5 кДа) – 36,35 % (рис. 1).

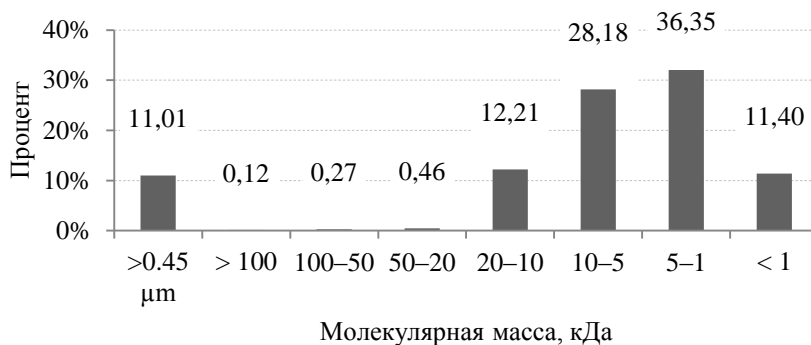


Рис. 1. Фракционный состав гидролизированных протеинов в гидролизате из кожи трески
Fig. 1. Fractional composition of hydrolyzed proteins in cod skin hydrolyzate

Доля низкомолекулярных белков (менее 10 кДа) в гидролизате из кожи судака составляет 82,42 %; самая большая фракция (1–5 кДа) – 37,59 % (рис. 2).

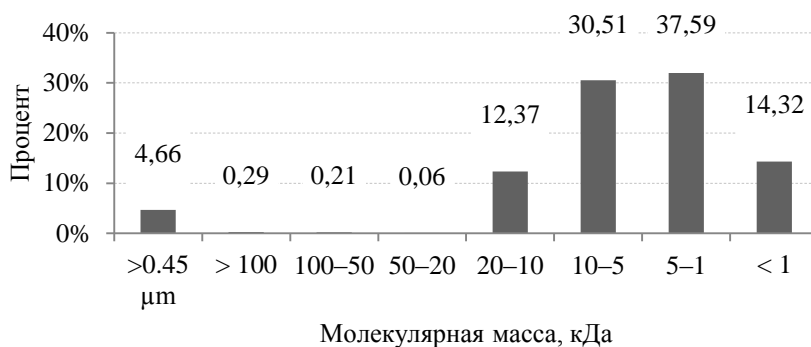


Рис. 2. Фракционный состав гидролизированных протеинов в гидролизате из кожи судака
Fig. 2. Fractional composition of hydrolyzed proteins in hydrolyzed pike perch skin

Доля низкомолекулярных белков (менее 10 кДа) в гидролизате из кожи минтая с учетом нерастворимой части составляет 76,19 %; самая большая фракция (1–5 кДа) – 32,51 % (рис. 3).

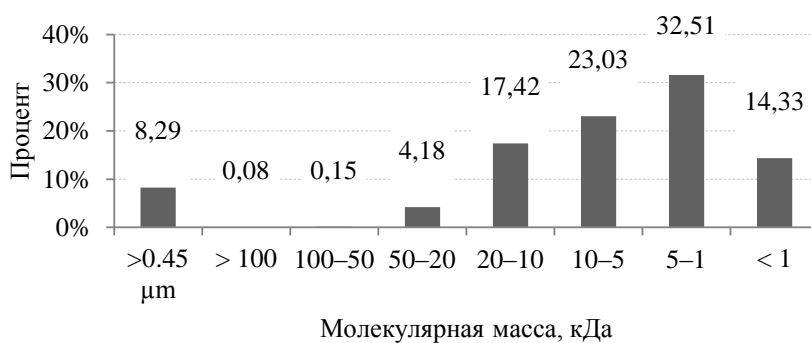


Рис. 3. Фракционный состав гидролизированных протеинов в гидролизате из кожи минтая
Fig. 3. Fractional composition of hydrolyzed proteins in pollock skin hydrolyzate

Анализ распределения молекулярной массы пептидов показал, что ПД в основном содержали пептиды молекулярной массой 1–5 кДа. Низкомолекулярные пептиды обладают биоактивными свойствами, повышающими их пищевую ценность (Мезенова и др., 2018). Кроме того, ПД содержали значительное

количество молекул молекулярной массой <1 кДа, представляющих собой небольшие дипептиды и свободные аминокислоты.

Для подтверждения возможности использования полученных добавок в продуктах спортивного назначения необходимо оценить показатель безвредности, используя достоверный биологический метод оценки. Простейшие – одноклеточные эукариотические организмы с животным поведением (подвижность и хищничество) (Пехов, 2012) – по способам передвижения делятся на жгутиконосцев, амебодных, споровиков и инфузорий. Инфузории *Tetrahymena* являются модельными организмами, используемыми для анализа возможного токсического действия добавок. Ресничное простейшее *Tetrahymena pyriformis* в течение многих лет применяется как модельная система в ходе биологических исследований (Zobkova et al., 2020).

Безвредность означает отсутствие в сырье или продуктах факторов, способствующих угнетению процессов жизнедеятельности и приводящих организм к заболеванию или гибели по различным причинам, кроме пищевой недостаточности. Безвредность – обратный эквивалент вредности, которая наглядно проявляется как отклонение от обычного, принимаемого за контроль и считающегося физиологической нормой состояния. В этой связи безвредность определяется по характеру и степени минимальной выраженности вредности (токсичности, токсигенности, аллергенности, мутагенности, тератогенности, канцерогенности и др.).

Сущность метода заключается в том, что для исключения возможного токсического действия ежедневно в раздавленной капле из контрольных и опытных проб под микроскопом оценивают движение, размеры, морфологические характеристики клеток инфузорий. По истечении периода инкубирования клетки инфузорий обездвиживают фиксирующим раствором и производят их подсчет.

В ходе эксперимента не наблюдалось угнетения подвижности и роста клеток; форма клеток инфузорий овальная, ровная; деформация клеточных стенок не обнаружена, что свидетельствует об отсутствии токсичного действия исследуемых ПД. Как для опытных, так и для контрольного образцов характерна активная подвижность инфузорий; гибели клеток не зафиксировано.

Одним из критериев качества продуктов является их питательная ценность, определяемая ростовой, массонакопительной и репродуктивной реакцией инфузории *Tetrahymena pyriformis* на использование ее организмом всех органических и неорганических компонентов исследуемого пищевого субстрата (Богдан и др., 2013). Показатель питательной ценности является интегральным показателем физиологического воздействия пищевого субстрата и может быть отождествлен с показателем биологической ценности, так как в большей степени отражает процессы репродукции организма.

При установлении питательной ценности в качестве эталона использовали контрольный продукт – казеин. Показатель питательной ценности определялся посредством сравнения числа клеток инфузорий, выросших на опытном продукте, и количества инфузорий, выросших на контрольном продукте (рис. 4).

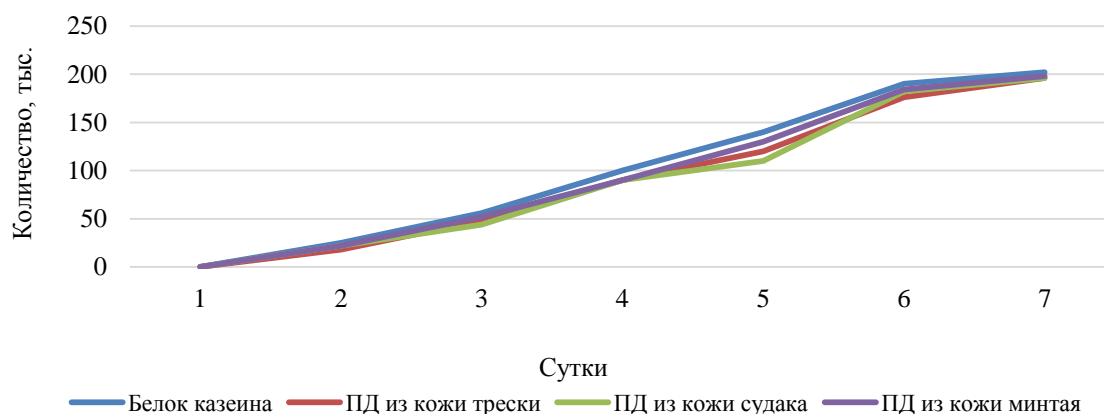


Рис. 4. Сравнение роста инфузорий на эталонном белке и протеиновых добавках
Fig. 4. Comparison of ciliate growth on reference protein and protein supplements

Динамика роста инфузорий в среде, содержащей ПД, и среде, содержащей казеинат натрия, имела схожие значения. Начало видимого активного роста было отмечено на 3-й день, пик роста был достигнут на 5-й день. Рост инфузорий на ПД приближен к росту на эталонном образце; данный результат свидетельствует о высокой относительной биологической ценности белка ПД.

Заключение

Максимальное использование вторичных продуктов рыбоперерабатывающих производств обеспечивает получение высокоценных продуктов питания и способствует улучшению экологической обстановки в России.

В ходе анализа общего химического состава кожи рыб, составляющей до 10 % от общего веса, обоснована перспективность использования кожи рыб в качестве сырья для получения ПД: количество белка составляет

18–28 %; содержание жира варьируется от 3 до 6 %, поэтому не применяются дополнительные стадии разделения фракций (в процессе гидролиза остаются лишь следы жира).

Оценка общего химического состава полученных ПД позволяет назвать добавки высокопротеиновыми, поскольку содержание белковых веществ находится в диапазоне от 92,5 (в ПД из кожи судака) до 95,44 % (в ПД из кожи минтая). Сравнение аминокислотного состава с эталонным белком по шкале ФАО/ВОЗ демонстрирует высокую степень удовлетворения суточной потребности в аминокислотах. Коэффициент утилитарности аминокислотного состава свидетельствует о сбалансированности аминокислот, определяющей биологическую ценность добавок из кожи судака, минтая, трески.

Фракционный состав ПД включает низкомолекулярные пептиды, обладающие различной фармакологической направленностью, необходимой спортсменам. В составе содержатся пептиды молекулярной массой 1–5 кДа и большое количество молекул <1 кДа, в основном представляющих собой небольшие дипептиды и свободные аминокислоты.

Биологическая оценка полученных образцов с использованием тест-объекта *Tetrahymena pyriformis* свидетельствует об отсутствии токсичного действия. Сравнение роста инфузорий на эталонном образце-казеине и образце с пищевыми добавками позволяет сделать вывод о высокой относительной биологической ценности белка ПД, поскольку динамика роста имеет схожие значения.

Полученные пищевые добавки используются в производстве продуктов спортивного питания. Белки и входящие в их состав аминокислоты составляют основу построения клеток и тканей организма. Спортсмены, употребляя продукты, обогащенные добавками из кожи рыб, могут оптимизировать процесс адаптации к физическим нагрузкам. Пищевые добавки из кожи рыб являются источником белков, обладают сбалансированным аминокислотным составом и положительно влияют на процесс всасывания в желудочно-кишечном тракте. Спортсменам рекомендуется применять обогащенные продукты для восстановления скелетных мышц и соединительных тканей после интенсивных тренировок; биоактивные пептиды в составе добавок являются стимуляторами работоспособности во время высокоинтенсивных и длительных тренировок.

Благодарности

Авторы благодарят сотрудников лаборатории Атлантического филиала ВНИРО за помощь в проведении анализа аминокислотного состава добавок, полученных из кожи рыб методом ферментативного гидролиза, директора Центра передовых технологий использования белков КГТУ В. В. Волкова и сотрудника Центра С. В. Агафонову – за помощь в определении фракционного состава гидролизованных протеинов в гидролизатах.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Библиографический список

- Авилова И. А., Котова О. В. Научные основы технологий производства питания для спортсменов // Физическая культура, спорт и здоровье в современном обществе : сб. науч. ст. всерос. очно-заочной науч.-практ. конф., Воронеж, 30 октября 2014 г. Воронеж : Научная книга, 2015. С. 314–317. EDN: TYATCP.
- Антипова Л. В., Сторублевцев С. А. Сравнительные свойства коллагеновых белков рыбного и животного происхождения // Вестник Воронежского государственного университета. Сер. Химия. Биология. Фармация. 2016. № 4. С. 37–41. EDN: XGRGWZ.
- Баженов Е. А., Байдалинова Л. С., Волков В. В., Grimm Т. Опыт получения пептидов с низкой молекулярной массой из различных видов вторичного рыбного сырья // Известия КГТУ. 2023. № 71. С. 84–101. DOI: <https://doi.org/10.46845/1997-3071-2023-71-84-101>. EDN: GTKTHP.
- Бастриков И. А. Медико-биологические аспекты создания и применения специализированных белково-углеводных продуктов питания для спортсменов // Вопросы питания. 2009. Т. 78, № 6. С. 78–82.
- Богдан А. С., Бондарук А. М., Цыганков В. Г. Методические подходы к оценке на *Tetrahymena pyriformis* биологической ценности и безвредности пищевой продукции // Здоровье и окружающая среда. 2013. № 22. С. 247–252. EDN: ZAUDSX.
- Гаврилова Н. Б., Щетинин М. П., Молибога Е. А. Современное состояние и перспективы развития производства специализированных продуктов для питания спортсменов // Вопросы питания. 2017. Т. 86, № 2. С. 100–106. EDN: YKKFAZ.
- Казакова В. С., Землякова Е. С. Исследования по комплексной переработке коллагенсодержащего рыбного сырья // Известия КГТУ. 2024а. № 72. С. 81–91. DOI: <https://doi.org/10.46845/1997-3071-2024-72-81-91>. EDN: NJLQIQ.
- Казакова В. С., Землякова Е. С. Исследования по ферментативному гидролизу покровных тканей судака // Вестник Международной академии холода. 2024б. № 1. С. 79–84. DOI: <https://doi.org/10.17586/1606-4313-2024-23-1-79-84>. EDN: FFYGFs.
- Коростелева М. М., Кобелькова И. В., Ханферьян Р. А. Нутритивная поддержка в спорте. Часть I. Роль макронутриентов в повышении выносливости спортсменов (обзор зарубежной литературы) // Спортивная

- медицина: наука и практика. 2020. Т. 10, № 3. С. 18–26. DOI: <https://doi.org/10.47529/2223-2524.2020.3.18>. EDN: PZUYJD.
- Кулькова В. С. Химия белков. Значение в организме человека и животных // Молодой исследователь: возможности и перспективы : сб. науч. ст. по материалам междунар. науч.-практ. конф., Ставрополь, 18–20 мая 2022 г. Ставрополь, 2022. С. 192–195. EDN: FSCQVJ.
- Мезенова О. Я., Волков В. В., Мерзель Т., Grimm Т. [и др.]. Сравнительная оценка способов гидролиза коллагенсодержащего рыбного сырья при получении пептидов и исследование их аминокислотной сбалансированности // Известия вузов. Прикладная химия и биотехнология. 2018. Т. 8, № 4(27). С. 83–94. DOI: <https://doi.org/10.21285/2227-2925-2018-8-4-83-94>.
- Надточий Л. А., Орлова О. Ю. Инновации в биотехнологии. Ч. 2. Пищевая комбинаторика. СПб.: Университет ИТМО, 2015. 37 с.
- Николаева М. А., Худяков М. С., Худякова О. Д. Состояние и перспективы развития рынка продуктов спортивного питания в России и за рубежом // Российский внешнеэкономический вестник. 2019. № 6. С. 65–78. EDN: VCEWYU.
- Пехов А. П. Биология: медицинская биология, генетика и паразитология. М. : ГЭОТАР-Медиа, 2012. 656 с.
- Стадник В. В., Арнтц Ф. Химия питания при занятиях физическими нагрузками // Физическая культура, спорт, здоровье и долголетие : сб. материалов междунар. науч. конф., Ростов-на-Дону, 6–8 сентября 2018 г. Ростов-на-Дону ; Таганрог : Изд-во Южного федерального университета, 2018. С. 76–84. EDN: OIZPTD.
- Токаев Э. С. Технология продуктов спортивного питания. М. : МГУПБ, 2010. 108 с.
- Цибизова М. Е., Мижуева С. А., Костюрина К. В. Критерии оптимизации биотехнологических процессов получения гидролизатов из гидробионтов // Известия высших учебных заведений. Пищевая технология. 2009. № 4(310). С. 74–77. EDN: KZMQYH.
- Чернуха И. М., Горбунова Н. А. Лечебно-профилактические свойства низкомолекулярных пептидов животного происхождения // Все о мясе. 2013. № 1. С. 36–38. EDN: PWCBEZ.
- Abuine R., Rathnayake A. U., Byun H.-G. Biological activity of peptides purified from fish skin hydrolysates // Fisheries and Aquatic Sciences. 2019. Vol. 22. Article number: 10. DOI: <https://doi.org/10.1186/s41240-019-0125-4>.
- Alemán A., Giménez B., Pérez-Santin E., Gómez-Guillén M. C. [et al.]. Contribution of Leu and Hyp residues to antioxidant and ACE-inhibitory activities of peptide sequences isolated from squid gelatin hydrolysate // Food Chemistry. 2011. Vol. 125, Iss. 2. P. 334–341. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2010.08.058>.
- Bao Z., Sun Y., Rai K., Peng X. [et al.]. The promising indicators of the thermal and mechanical properties of collagen from bass and tilapia: Synergistic effects of hydroxyproline and cysteine // Biomaterials Science. 2018. Vol. 6, Iss. 11. P. 3042–3052. DOI: <https://doi.org/10.1039/C8BM00675J>.
- Duan R., Zhang J., Du X., Yao X. [et al.]. Properties of collagen from skin, scale and bone of carp (*Cyprinus carpio*) // Food Chemistry. 2009. Vol. 112, Iss. 3. P. 702–706. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2008.06.020>.
- Huang W.-Y., Davidge S. T., Wu J. Bioactive natural constituents from food sources – potential use in hypertension prevention and treatment // Critical Reviews in Food Science and Nutrition. 2013. Vol. 53, Iss. 6. P. 615–630. DOI: <https://doi.org/10.1080/10408398.2010.550071>.
- Jäger R., Kerksick C. M., Campbell B. I., Cribb P. J. [et al.]. International society of sports nutrition position stand: Protein and exercise // Journal of the International Society of Sports Nutrition. 2017. Vol. 14, Iss. 1. DOI: <https://doi.org/10.1186/s12970-017-0177-8>.
- Karami Z., Akbari-Adergani B. Bioactive food derived peptides: A review on correlation between structure of bioactive peptides and their functional properties // Journal of Food Science and Technology. 2019. Vol. 56. P. 535–547. DOI: <https://doi.org/10.1007/s13197-018-3549-4>.
- Kim D.-H., Kim S.-H., Jeong W.-S., Lee H.-Y. Effect of BCAA intake during endurance exercises on fatigue substances, muscle damage substances, and energy metabolism substances // Journal of Exercise Nutrition & Biochemistry. 2013. Vol. 17, Iss. 4. P. 169–180. DOI: <https://doi.org/10.5717/jenb.2013.17.4.1690>.
- Zobkova Z., Fursova T., Zenina D. The determination of the base matrix optimal composition with use of test organisms *Tetrahymena pyriformis* // News of the national academy of sciences of the Republic of Kazakhstan. Series of geology and technical sciences. 2020. Vol. 3. P. 142.

References

- Avilova, I. A., Kotova, O. V. 2015. Scientific basis of nutrition technologies for athletes. Coll. of scientific articles of the All-Russian full-time and part-time scient. and pract. conf. *Physical culture, sports and health in modern society*, Voronezh, 30 October, 2014. Voronezh, pp. 314–317. EDN: TYATCP. (In Russ.)
- Antipova, L. V., Storublevcev, S. A. 2016. Comparative properties of collagen proteins of fish and animal origin. *Proceedings of Voronezh State University. Series: Chemistry. Biology. Pharmacy*, 4, pp. 37–41. EDN: XGRGWZ. (In Russ.)

- Bazhenov, E. A., Bajdalinova, L. S., Volkov, V. V., Grimm, T. 2023. Experience in obtaining low molecular weight peptides from various types of secondary fish raw materials. *KSTU News*, 71, pp. 84–101. DOI: <https://doi.org/10.46845/1997-3071-2023-71-84-101>. EDN: GTKTHP. (In Russ.)
- Bastrikov, I. A. 2009. Medical and biological aspects of the creation and use of specialized protein-carbohydrate food products for athletes. *Problems of Nutrition*, 78(6), pp. 78–82. (In Russ.)
- Bogdan, A. S., Bondaruk, A. M., Cygankov, V. G. 2013. Methodological approaches to assessing the biological value and safety of food products for *Tetrahymena pyriformis*. *Zdorovie i Okruzhayushchaya Sreda*, 22, pp. 247–252. EDN: ZAUDSX. (In Russ.)
- Gavrilova, N. B., Shchetinin, M. P., Moliboga, E. A. 2017. Current state and prospects for the development of production of specialized products for nutrition of athletes. *Problems of Nutrition*, 86(2), pp. 100–106. EDN: YKKFAZ. (In Russ.)
- Kazakova, V. S., Zemlyakova, E. S. 2024a. Research on complex processing of collagen-containing fish raw materials. *KSTU News*, 72, pp. 81–91. DOI: <https://doi.org/10.46845/1997-3071-2024-72-81-91>. EDN: NJLQIQ. (In Russ.)
- Kazakova, V. S., Zemlyakova, E. S. 2024b. Research on enzymatic hydrolysis of the integumentary tissues of pike perch. *Vestnik Mezhdunarodnoy Akademii Kholoda*, 1, pp. 79–84. DOI: <https://doi.org/10.17586/1606-4313-2024-23-1-79-84>. EDN: FFYGFSS. (In Russ.)
- Korosteleva, M. M., Kobel'kova, I. V., Khanfer'yan, R. A. 2020. Nutritional support in sports: Part I. The role of macronutrients in increasing the endurance of athletes (review of foreign literature). *Sports Medicine: Research and Practice*, 10(3), pp. 18–26. DOI: <https://doi.org/10.47529/2223-2524.2020.3.18>. EDN: PZUYJD. (In Russ.)
- Kul'kova, V. S. 2022. Chemistry of proteins. Significance in humans and animals. Proceedings International scientific and practical conference, Stavropol', 18–20 May, 2022. Stavropol', pp. 192–195. EDN: FSCQVJ. (In Russ.)
- Mezenova, O. Ya., Volkov, V. V., Merzel, T., Grimm, T. et al. 2018. Comparative assessment of methods for hydrolysis of collagen-containing fish raw materials in the production of peptides and study of their amino acid balance. *Proceedings of Universities Applied Chemistry and Biotechnology*, 8(4(27)), pp. 83–94. DOI: <https://doi.org/10.21285/2227-2925-2018-8-4-83-94>. (In Russ.)
- Nadochay, L. A., Orlova, O. Yu. 2015. Innovations in biotechnology. Part 2. Food combinatorics: Educational method. Saint-Petersburg. (In Russ.)
- Nikolaeva, M. A., Khudyakov, M. S., Khudyakova, O. D. 2019. State and prospects for the development of the sports nutrition products market in Russia and abroad. *Russian Foreign Economic Journal*, 6, pp. 65–78. EDN: VCEWYU. (In Russ.)
- Pekhov, A. P. 2012. Biology: Medical biology, genetics and parasitology. Moscow. (In Russ.)
- Stadnik, V. V., Armtc, F. 2018. Chemistry of nutrition during physical activity. Coll. of articles of Intern. Scient. Conf. *Physical culture, sports, health and longevity*, Rostov-on-Don, 6–8 September, 2018. Rostov-on-Don, pp. 76–84. EDN: OIZPTD. (In Russ.)
- Tokaev, E. S. 2010. Sports nutrition technology. Moscow. (In Russ.)
- Tcibizova, M. E., Mizhueva, S. A., Kostyurina, K. V. 2009. Criteria for optimization of biotechnological processes for obtaining hydrolysates from aquatic organisms. *Izvestiya VUZOV. Food Technology*, 4(310), pp. 74–77. EDN: KZMQYH. (In Russ.)
- Chernukha, I. M., Gorbunova, N. A. 2013. Therapeutic and prophylactic properties of low molecular weight peptides of animal origin. *Vsyo o Myase*, 1, pp. 36–38. EDN: PWCBEZ. (In Russ.)
- Abuine, R., Rathnayake, A. U., Byun, H.-G. 2019. Biological activity of peptides purified from fish skin hydrolysates. *Fisheries and Aquatic Sciences*, 22. Article number: 10. DOI: <https://doi.org/10.1186/s41240-019-0125-4>.
- Alemán, A., Giménez, B., Pérez-Santin, E., Gómez-Guillén, M. C. et al. 2011. Contribution of Leu and Hyp residues to antioxidant and ACE-inhibitory activities of peptide sequences isolated from squid gelatin hydrolysate. *Food Chemistry*, 125(2), pp. 334–341. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2010.08.058>.
- Bao, Z., Sun, Y., Rai, K., Peng, X. et al. 2018. The promising indicators of the thermal and mechanical properties of collagen from bass and tilapia: Synergistic effects of hydroxyproline and cysteine. *Biomaterials Science*, 6(11), pp. 3042–3052. DOI: <https://doi.org/10.1039/C8BM00675J>.
- Duan, R., Zhang, J., Du, X., Yao, X. et al. 2009. Properties of collagen from skin, scale and bone of carp (*Cyprinus carpio*). *Food Chemistry*, 112(3), pp. 702–706. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2008.06.020>.
- Huang, W.-Y., Davidge, S. T., Wu, J. 2013. Bioactive natural constituents from food sources – potential use in hypertension prevention and treatment. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 53(6), pp. 615–630. DOI: <https://doi.org/10.1080/10408398.2010.550071>.
- Jäger, R., Kerksick, C. M., Campbell, B. I., Cribb, P. J. et al. 2017. International society of sports nutrition position stand: Protein and exercise. *Journal of the International Society of Sports Nutrition*, 14(1). DOI: <https://doi.org/10.1186/s12970-017-0177-8>.

- Karami, Z., Akbari-Adergani, B. 2019. Bioactive food derived peptides: A review on correlation between structure of bioactive peptides and their functional properties. *Journal of Food Science and Technology*, 56, pp. 535–547. DOI: <https://doi.org/10.1007/s13197-018-3549-4>.
- Kim, D.-H., Kim, S.-H., Jeong, W.-S., Lee, H.-Y. 2013. Effect of BCAA intake during endurance exercises on fatigue substances, muscle damage substances, and energy metabolism substances. *Journal of Exercise Nutrition & Biochemistry*, 17(4), pp. 169–180. DOI: <https://doi.org/10.5717/jenb.2013.17.4.1690>.
- Zobkova, Z., Fursova, T., Zenina, D. 2020. The determination of the base matrix optimal composition with use of test organisms *Tetrahymena pyriformis*. *News of the national academy of sciences of the Republic of Kazakhstan. Series of geology and technical sciences*, 3, P. 142.

Сведения об авторах

Казакова Виктория Сергеевна – пр. Советский, 1, г. Калининград, Россия, 236022;
Калининградский государственный технический университет, аспирант;
e-mail: viktoriya.kazakova@klgtu.ru

Victoria S. Kazakova – 1 Sovetsky Ave., Kaliningrad, Russia, 236022;
Kaliningrad State Technical University, PhD Student; e-mail: viktoriya.kazakova@klgtu.ru

Землякова Евгения Сергеевна – пр. Советский, 1, г. Калининград, Россия, 236022;
Калининградский государственный технический университет, канд. техн. наук, доцент;
e-mail: evgeniya.zemljakova@klgtu.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0974-3914>

Evgenia S. Zemlyakova – 1 Sovetsky Ave., Kaliningrad, Russia, 236022;
Kaliningrad State Technical University, Cand. Sci. (Engineering), Associate Professor;
e-mail: evgeniya.zemljakova@klgtu.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0974-3914>

УДК 547.458.6

Совершенствование технологии изготовления пищевых добавок, крахмалов и крахмалопродуктов с использованием инфракрасного излучения

К. В. Шешнев, А. А. Мартынов*, Е. А. Селезнева, О. В. Буханцев

*ООО "Специо", г. Волгоград, Россия;

e-mail: martynov.a@spezio.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2485-7792>

Информация о статье Реферат

Поступила в редакцию 04.06.2024;

получена после доработки 09.07.2024;

принята к публикации 19.07.2024

Ключевые слова:

крахмалопродукты, мальтодекстрин, пищевые добавки, вкус, аромат, инфракрасная обработка, декстрозный эквивалент, гранулометрический состав

В работе рассматриваются проблемы физической модификации крахмалопродуктов и других пищевых ингредиентов. Описаны основные тенденции и направления инновационной деятельности, характерные для ингредиентного рынка. В результате проведенных экспериментов разработан метод модификации крахмалов, крахмалопродуктов и добавок пищевых комплексных для улучшения их микробиологических, физико-химических и органолептических характеристик. Доказано, что при воздействии инфракрасного излучения с длиной волны 7–10 мкм на слой продукта толщиной 1 см в течение 1 мин количество мезофильных аэробных и факультативно-анаэробных микроорганизмов в таком продукте снижается до нулевого значения. При этом массовая доля редуцирующих веществ вследствие такой обработки увеличивается более чем в два раза, что свидетельствует о протекании процесса декстринизации. Допускается обработка как крахмалопродуктов, выполняющих роль носителей в составе комплексных смесей, так и готовых добавок после завершения процесса перемешивания. Массовая доля влаги в процессе инфракрасной обработки уменьшается менее чем на 1 % для мальтодекстринов и менее чем на 2 % для добавок пищевых комплексных, что характеризует возникающие технологические потери как допустимые. Изменение гранулометрического состава комплексных добавок под воздействием инфракрасного излучения улучшает сыпучесть продукта, повышает равномерность распределения вкусоароматических веществ по поверхности носителя, что в свою очередь обеспечивает возможность снижения дозировки комплексных добавок при изготовлении мясных и кондитерских продуктов. На основе полученных результатов разработаны и описаны технологические диаграммы, показывающие поэтапно производственный процесс с указанием всех значимых параметров.

Для цитирования

Шешнев К. В. и др. Совершенствование технологии изготовления пищевых добавок, крахмалов и крахмалопродуктов с использованием инфракрасного излучения. Вестник МГТУ. 2024. Т. 27, № 3. С. 328–342. DOI: <https://doi.org/10.21443/1560-9278-2024-27-3-328-342>.

Improving the technology for manufacturing food additives, starches and starch products using infrared radiation

Kirill V. Sheshnev, Anton A. Martynov*, Ekaterina A. Selezneva, Oleg V. Buhancev

*ООО "Специо", Volgograd, Russia;

e-mail: martynov.a@spezio.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2485-7792>

Article info

Received 04.06.2024;

received in revised form 09.07.2024;

accepted 19.07.2024

Abstract

The paper considers the problems of physical modification of starch products and other food ingredients. The main trends and directions of innovative activity characteristic of the ingredient market have been described. As a result of the experiments, a method for modifying starches, starch products and complex food additives has been developed to improve their microbiological, physicochemical and organoleptic characteristics. It has been proven that when exposed to infrared radiation with a wavelength of 7–10 microns on a layer of a product 1 cm thick for 1 minute, the number of mesophilic aerobic and facultative anaerobic microorganisms in such a product is reduced to zero. At the same time, the mass fraction of reducing substances as a result of such treatment more than doubles, which indicates the occurrence of the dextrinization process. It is possible to process both starch products that act as carriers in complex mixtures and ready-made additives after completion of the mixing process. The mass fraction of moisture during infrared processing decreases by less than 1 % for maltodextrins and by less than 2 % for complex food additives, which characterizes the resulting technological losses as acceptable. Changing the granulometric composition of complex additives under the influence of infrared radiation improves the flowability of the product, increases the uniformity of distribution of flavoring substances over the surface of the carrier, which in turn makes it possible to reduce the dosage of complex additives in the manufacture of meat and confectionery products. Based on the results obtained, technological diagrams have been developed and described showing the production process step by step, indicating all significant parameters.

Key words:

starch products, maltodextrin, food additives, taste, aroma, infrared treatment, dextrose equivalent, particle size distribution

For citation

Sheshnev, K. V. et al. 2024. Improving the technology for manufacturing food additives, starches and starch products using infrared radiation. *Vestnik of MSTU*, 27(3), pp. 328–342. (In Russ.) DOI: <https://doi.org/10.21443/1560-9278-2024-27-3-328-342>.

Введение

Пищевая индустрия является одним из наиболее устойчивых и стремительно развивающихся сегментов экономики. В 2022 г. глобальная выручка в этом секторе достигала 8,66 трлн долларов. По прогнозам экспертов, к 2027 г. совокупный среднегодовой темп роста составит 6,72 % (*Шешнев и др., 2022; Park et al., 2021*).

Российский рынок продуктов питания на данный момент оценивается в 20 трлн рублей, из которых 625 млрд рублей приходится на онлайн-продажи. Расходы производителей на сырье и вспомогательные материалы составляют 3 трлн рублей. Объем рынка пищевых ингредиентов в России превышает 3 млрд долларов.

В последние годы отечественный ингредиентный рынок доказал свою устойчивость и способность адаптироваться к экономическим изменениям. Уход зарубежных поставщиков и усложнение логистики при импортных закупках способствовали развитию российского производства. Пятнадцать лет назад доля импорта составляла 95 %, но благодаря развитию отечественной промышленности этот показатель снизился, и ингредиентный сектор пищевой промышленности продолжает расти на 5–7 % в год. На рынок вышли новые малые и средние компании, предлагающие уникальные и специализированные продукты, отличающиеся от классических решений крупных производителей. Однако порог входа в этот сегмент рынка остается высоким, поскольку производство пищевых ингредиентов требует специалистов с высокой квалификацией и глубокими знаниями в областях пищевой химии, технологии пищевых производств и биотехнологии (*Куракин и др., 2021; Тихомирова, 2020*).

Современные тенденции в области ингредиентов связаны со здоровым питанием, концепцией "чистой этикетки" и глубокой переработкой растительного сырья и вторичных сырьевых ресурсов (*Голубев и др., 2020; Kingsley, 2018*). Государственная программа развития сельского хозяйства в России до 2030 г. предусматривает поддержку научных исследований и разработок в сфере пищевой и перерабатывающей промышленности. Приоритетные направления включают производство функциональных продуктов питания и разработку методов биопреобразования и глубокой переработки растительных культур (*Горлов и др., 2018*). Инновационные подходы и технологии играют ключевую роль в производстве конкурентоспособных пищевых продуктов.

Анализ технико-экономических аспектов ингредиентной отрасли показывает, что для поддержания конкурентоспособности отечественные предприятия должны руководствоваться в своей деятельности следующими принципами:

- 1) активное взаимодействие с российскими вузами и научно-исследовательскими учреждениями, включая разработку методов производства, составов добавок и рецептур продуктов с их использованием;
- 2) адаптация зарубежных технологий к переработке регионального сырья, существующим энергоресурсам, инфраструктуре и логистике (*Довгоцько и др., 2021*);
- 3) внедрение современных методов обработки, таких как экструзия, баромембранные процессы (БМП), ультразвуковая (УЗ), микроволновая (СВЧ) и инфракрасная (ИК) обработка, а также создание универсальных и гибких производственных линий на их основе;
- 4) применение специализированных технологий для продления срока хранения продуктов без потери их качества.

Существенная технологическая проблема рассматриваемого рыночного сегмента заключается в том, что производители применяют технологию изготовления пищевых добавок, основанную на смешивании компонентов по утвержденным рецептам без дополнительной обработки, влияющей на органолептические и функциональные качества продукта. В результате остаются актуальными задачи повышения сыпучести, растворимости и сроков годности добавок, а также снижения их слеживаемости. Дозировка вкусоароматических добавок, необходимая для достижения технологических целей, остается высокой (*Андреев и др., 2017; Апалькова и др., 2020*).

Использование инфракрасного излучения при производстве комплексных пищевых добавок имеет ряд преимуществ по сравнению с традиционными способами обработки (*Алтухов и др., 2021; Шариков и др., 2020*). Инфракрасное излучение обеспечивает регулируемое и целенаправленное изменение качественных характеристик обрабатываемого сырья. При этом изменяются его механические и физико-химические свойства. Непродолжительный период обработки способствует сохранению количества микронутриентов в получаемом продукте (*Алексеев и др., 2021; Das et al., 2021; Gong et al., 2022; Los et al., 2022; Öztürk et al., 2021; Semwal et al., 2021; Martynov et al., 2024; Physical..., 2018*).

Особенно актуален вопрос модификации веществ, выступающих носителями в комплексных пищевых добавках, поскольку такие вещества имеют широкую область применения в ингредиентной промышленности (*Юркова, 2021*). Носители используют для растворения, разбавления, равномерного распределения в продукте

и удобства дозирования пищевых добавок. Большое значение имеет их растворимость и дисперсность, что перекликается с основными технологическими проблемами рассматриваемой отрасли. На сегодняшний день популярными носителями являются мальтодекстрин и другие крахмалопродукты.

Цель работы состоит в разработке способа модификации крахмалов, крахмалопродуктов и пищевых добавок, направленного на улучшение их микробиологических, физико-химических и органолептических качеств в соответствии с актуальными тенденциями ингредиентной отрасли. Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

- изучить влияние инфракрасной обработки на микробиологические, физико-химические и органолептические показатели обрабатываемых крахмалопродуктов и комплексные пищевые добавки;
- оценить органолептические характеристики готовой пищевой продукции, выработанной с использованием модифицированных инфракрасной обработкой комплексных пищевых добавок;
- разработать технологические диаграммы производства комплексных пищевых добавок, включающие этап обработки инфракрасным излучением, и подготовить их описание.

Материалы и методы

Исследования были выполнены специалистами компании ООО "Специо" в кооперации с научными и образовательными учреждениями. В испытаниях модифицированной продукции участвовали научные работники Волгоградского государственного технического университета (ВолгГТУ), Поволжского научно-исследовательского института мясомолочной промышленности (ГНУ НИИММП) и Всероссийского научно-исследовательского института пищевых добавок (ВНИИПД) – филиал Федерального научного центра пищевых систем им. В. М. Горбатова РАН.

В качестве объектов исследования были выбраны мальтодекстрин и комплексные пищевые добавки. В ходе модификации использовали инфракрасное излучение, которое генерировалось кварцевыми электронагревателями, представляющими собой кварцевые трубки диаметром 10 мм с резистивной спиралью внутри. Мощность электронагревателей составляла 1 000 Вт.

В инфракрасном спектре у крахмалопродуктов активны ассиметричные валентные колебания связей С–О–С. Наиболее интенсивные колебания для гликозидной связи наблюдаются при волновых числах $1\,310\text{--}1\,000\text{ см}^{-1}$, что соответствует значениям длин волн излучения $7,63\text{--}9,09\text{ мкм}^1$. Энергия поглощения длинноволновых инфракрасных лучей составляет $3 \cdot 10^{-19}$ Дж, что является достаточным значением для обеспечения частичной декстринизации крахмалопродуктов (*Способ...*, 1985).

Использованные нагреватели работали в диапазоне длин волн от 7 до 10 мкм. Заданная длина волны излучения необходима для активации и разрыва $\alpha\text{-(1}\rightarrow\text{6)}$ и $\alpha\text{-(1}\rightarrow\text{4)}$ связей крахмалопродуктов, поскольку в описанных условиях частота колебаний соответствует резонансной (*Рыжкова и др.*, 2018). Этот параметр выгодно отличает используемые кварцевые электронагреватели от традиционно применяемых в промышленности ламп КГТ220-1000, излучающих ближний инфракрасный спектр. Рабочая температура применяемых нагревателей достигалась за 30 с с момента включения.

Для снижения технологических потерь и с учетом отражения от стенок рабочей камеры время обработки было снижено до 3 мин и менее, что значительно меньше по сравнению с традиционно применяемой обработкой в течение 6–20 мин (*Способ...*, 1985). Результативность обработки оценивалась по массовой доле влаги, редуцирующих веществ и КМАФАнМ в обработанных продуктах, органолептическим показателям. Предполагалась стерилизация продукта и повышение его декстрозного эквивалента до значений, соответствующих выбранной области применения, без изменения его цвета или появления постороннего привкуса и запаха.

Разработанная технология модификации крахмалов, крахмалопродуктов и пищевых добавок защищена патентом РФ № 2796675 "Способ модификации вкусоароматических добавок, крахмалов и крахмалопродуктов" (*Способ...*, 2023).

Углеводный состав мальтодекстрина с начальным декстрозным эквивалентом 10 при различной продолжительности экспонирования в рабочей камере с инфракрасным излучением определялся методом ВЭЖХ (высокоэффективная жидкостная хроматография). Микробиологическую обсемененность мальтодекстрина характеризовали показателем КМАФАнМ (количество мезофильных аэробных и факультативно-анаэробных микроорганизмов), который определяли по ГОСТ 10444.15². Отбор и подготовку проб осуществляли в соответствии со следующими нормативными документами: ГОСТ 33444, ГОСТ 26669, ГОСТ 31904. Массовую долю влаги образцов мальтодекстрина исследовали по методике ГОСТ 15113.4.

¹ Тарасевич Б. Н. ИК спектры основных классов органических соединений. Справочные материалы. Москва : МГУ, 2012. 55 с.

² Информация о нормативных актах и ГОСТах представлена в Приложении.

Результаты проведенных экспериментальных исследований анализировали с применением программного комплекса Microsoft Office.

Для определения гранулометрического состава комплексных пищевых добавок, обработанных инфракрасным излучением, применяли сетки проволочные тканые с квадратными ячейками размером 10, 20 и 50 мкм по ГОСТ 6613. Оценка органолептических качеств готовых пищевых продуктов (Новокишанова и др., 2020), выработанных с использованием модифицированных комплексных пищевых добавок, проводилась по пятибалльной шкале специалистами профильных научных организаций.

Результаты и обсуждение

Механизм влияния инфракрасного излучения на физико-химические и органолептические свойства крахмалопродуктов реализуется следующим образом. Тепловой поток воздействует на полисахариды, составляющие крахмальные гранулы, – амилозу и амилопектин. Под воздействием теплового потока инфракрасных лучей протекает процесс декстринизации (рис. 1).

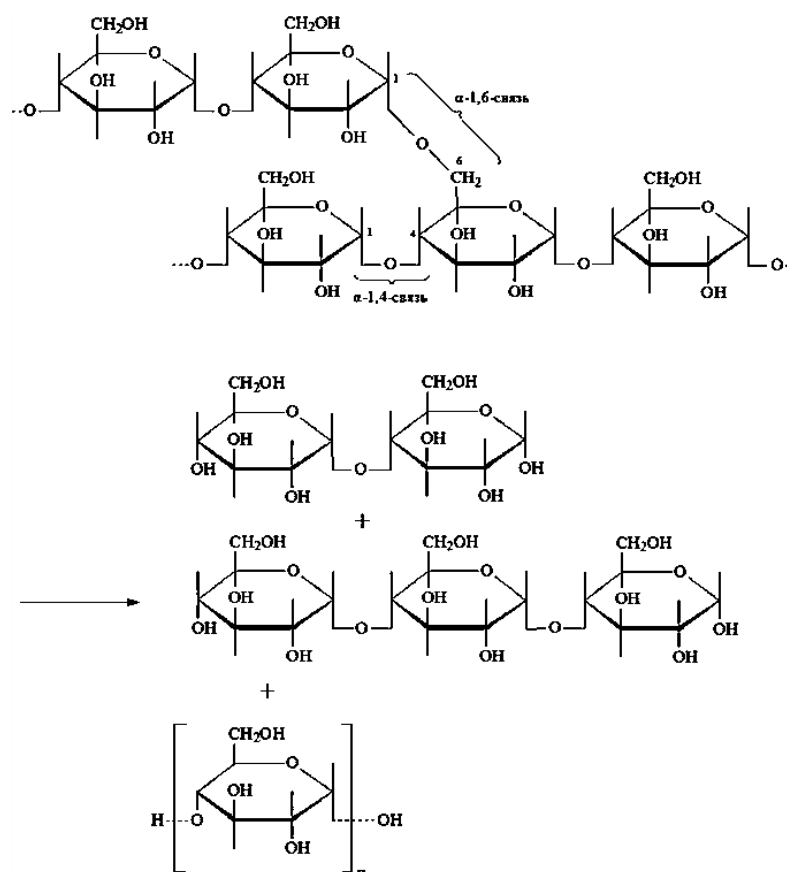


Рис. 1. Молекулярные изменения при декстринизации под воздействием инфракрасного излучения
Fig. 1. Molecular changes during dextrinization under the influence of infrared radiation

В результате уменьшения длины полимерных цепей с α -(1 \rightarrow 4) связью образуются укороченные полимерные цепи амилозы с глюкопиранозидами с общей формулой ($n = 2-20$). Поскольку пространственная структура амилопектина обуславливает умеренные гидрофильные свойства крахмалопродуктов, изменение соотношения амилопектина и амилозы в пользу последней повышает растворимость.

При нагреве крахмалопродуктов их молекулярная подвижность возрастает, что вызывает частичный распад крахмальных гранул. Уменьшение размера молекул и гранул, особенно характерное для мальтодекстрина, увеличивает его удельную поверхность (Ананских и др., 2017). Увеличение удельной поверхности в свою очередь способствует равномерному распределению олеорезинов и эфирных масел в объеме носителя при подготовке экстрактов в процессе создания комплексных пищевых, в частности, вкусоароматических добавок. Модифицированный мальтодекстрин, подвергнутый частичной декстринизации, обладает высокой сыпучестью, что способствует повышению технологичности производства, упрощает процессы перемешивания сухих ингредиентов и упаковывания готовой продукции, препятствует расслоению компонентов смеси и образованию пыли.

В ходе испытаний мальтодекстрина с декстрозным эквивалентом 10 (DE 10) слоем толщиной 1 см размещали в рабочей камере и обрабатывали инфракрасным излучением длиной волны 7–10 мкм. Продолжительность экспонирования составляла 1, 2 и 3 мин (табл. 1).

Таблица 1. Результаты анализа мальтодекстрина DE 10
Table 1. DE 10 Maltodextrin analysis results

Показатель	Продолжительность инфракрасной обработки, мин			
	0	1	2	3
КМАФАнМ, КОЕ / г	9 000 ± 20	0	0	0
Массовая доля влаги, %	5,8 ± 0,09	5,2 ± 0,08	4,9 ± 0,06	4,6 ± 0,09
Массовая доля редуцирующих веществ в пересчете на сухое вещество, %	12,6 ± 0,04	34,5 ± 0,06	42,2 ± 0,05	46,0 ± 0,04
Высшие сахара, %	93,1 ± 0,05	51,2 ± 0,05	30,1 ± 0,04	20,4 ± 0,08
Триоза, %	4,5 ± 0,07	21,9 ± 0,05	29,6 ± 0,06	32,3 ± 0,07
Мальтоза, %	2,1 ± 0,07	24,4 ± 0,08	36,3 ± 0,08	42,2 ± 0,05
Глюкоза, %	0,3 ± 0,05	2,5 ± 0,06	4,0 ± 0,08	5,1 ± 0,08

Продолжительность обработки, достаточная для стерилизации мальтодекстрина, составляет одну минуту. Более продолжительная обработка способствует более глубокой декстринизации, о чем свидетельствует увеличение содержания редуцирующих веществ с повышением длительности экспонирования. При трехминутной обработке инфракрасным излучением содержание редуцирующих веществ в мальтодекстрине в пересчете на сухое вещество увеличивается на 33,4 % по сравнению с необработанной добавкой. Одновременно с этим, как видно из приведенных хроматограмм (рис. 2–5), уменьшается количество высших сахаров и увеличивается содержание моносахаров. Процесс сопровождается снижением массовой доли влаги мальтодекстринов на 1,2 %, что характеризует возникающие технологические потери как незначительные.

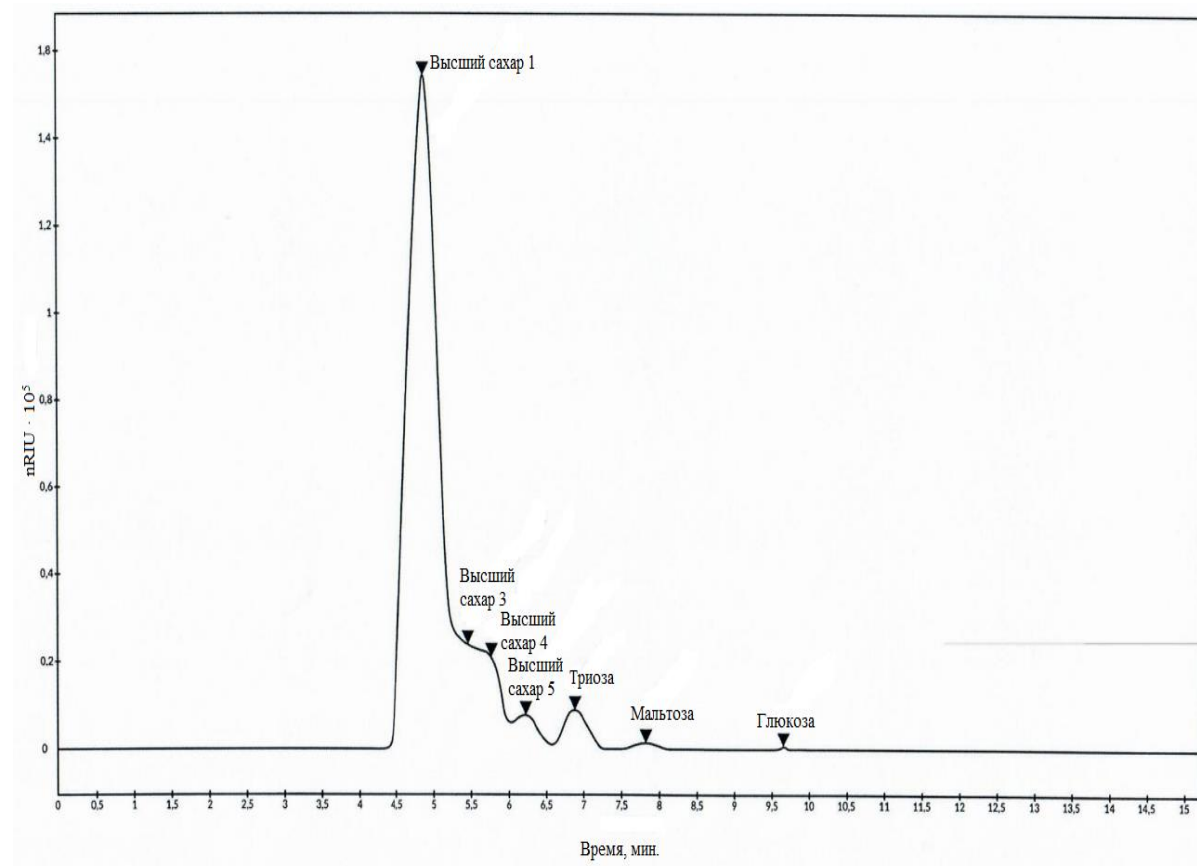


Рис. 2. Хроматограмма образца мальтодекстрина DE 10
Fig. 2. Chromatogram of DE 10 Maltodextrin sample

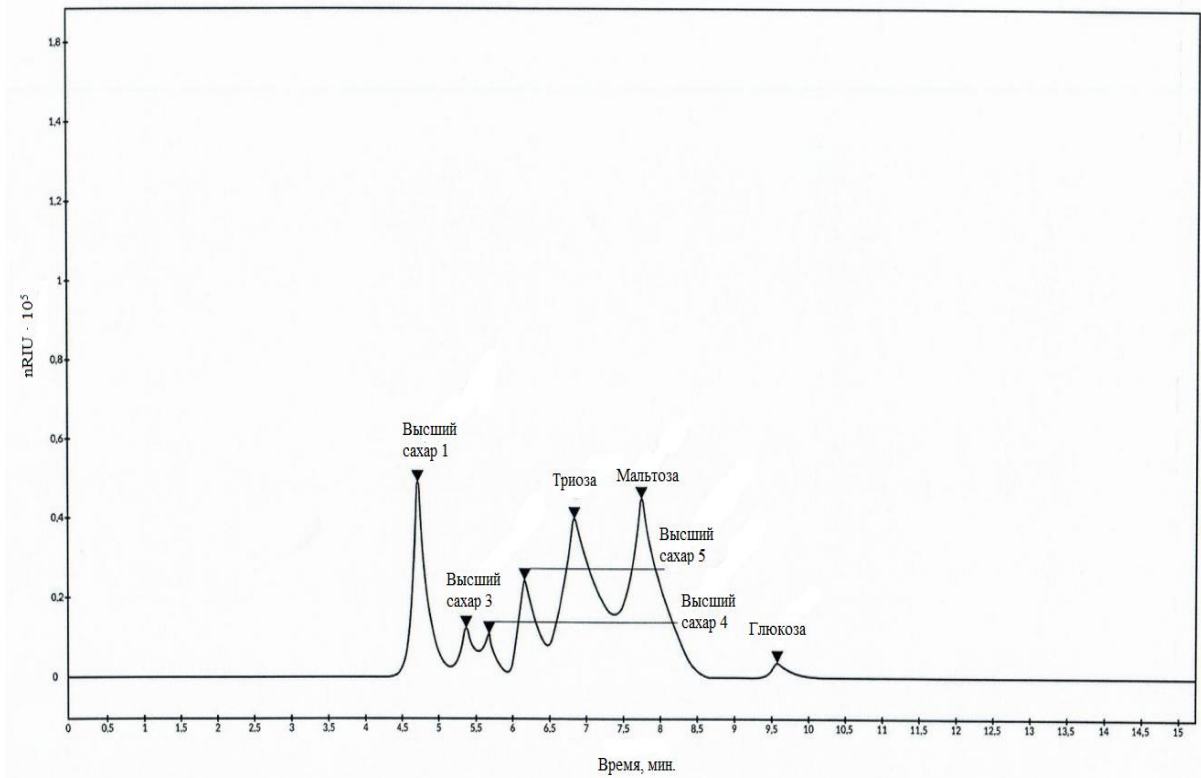


Рис. 3. Хроматограмма образца мальтодекстрина DE 10 при минутной инфракрасной обработке
Fig. 3. Chromatogram of DE 10 Maltodextrin sample under one-minute infrared treatment

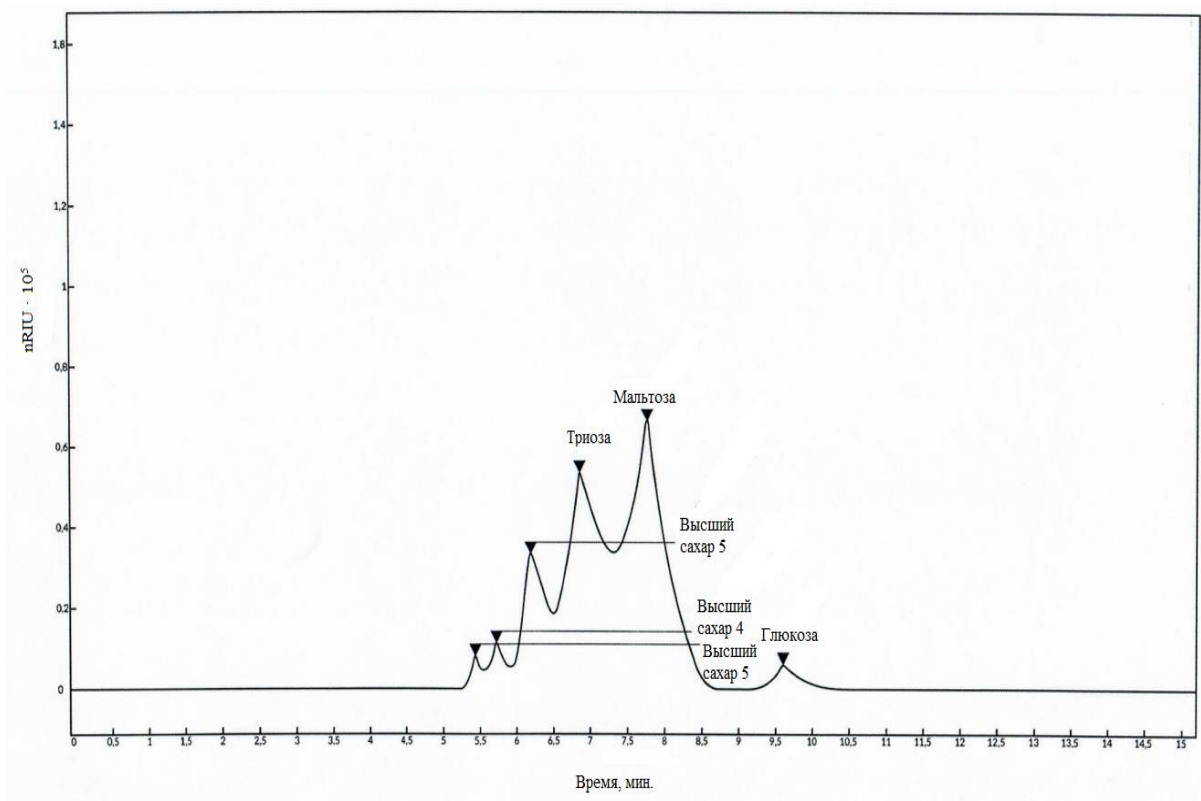


Рис. 4. Хроматограмма образца мальтодекстрина DE 10 при двухминутной инфракрасной обработке
Fig. 4. Chromatogram of DE 10 Maltodextrin sample under two-minute infrared treatment

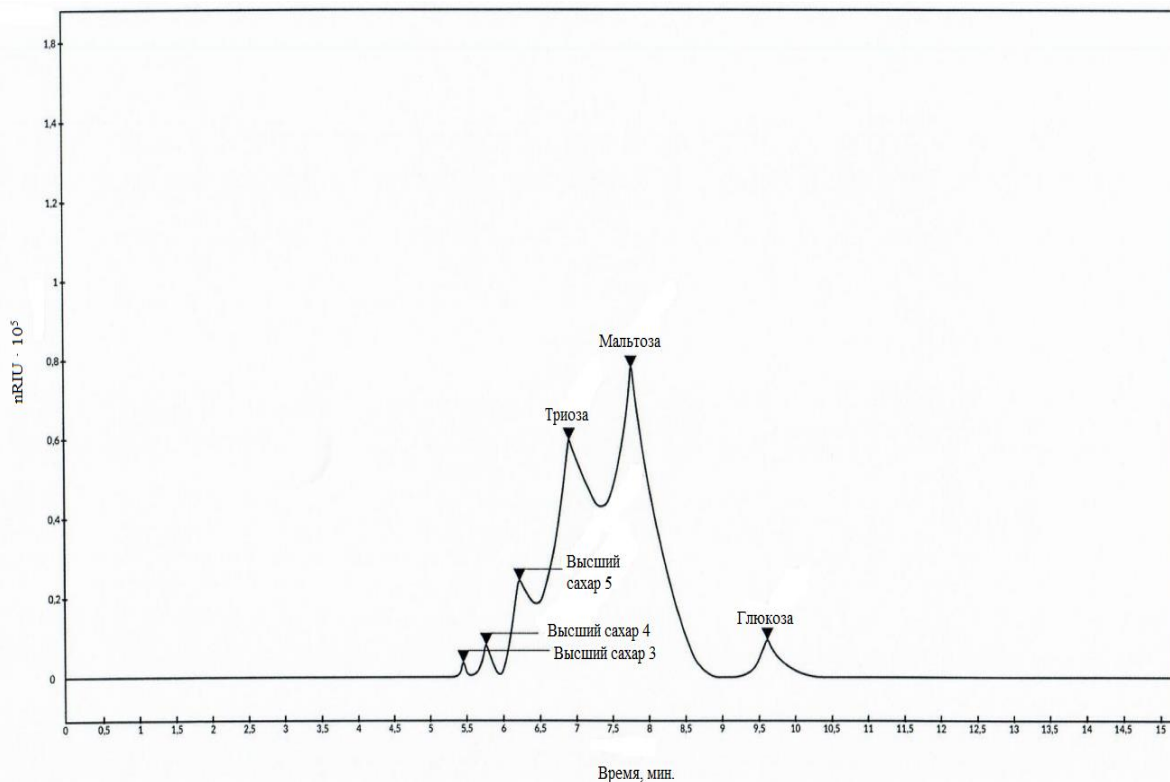


Рис. 5. Хроматограмма образца мальтодекстрина DE 10 при трехминутной инфракрасной обработке
 Fig. 5. Chromatogram of DE 10 Maltodextrin sample under three-minute infrared treatment

Для подтверждения сохранения эффективности инфракрасной обработки в случае применения ее не только к мальтодекстринам, но и к готовым комплексным смесям после завершения процесса перемешивания, проведены сравнительные исследования обработанных и необработанных добавок. Комплексные пищевые добавки "Сладкие сливки" и "Докторская", содержащие в рецептурах 70 и 65 % мальтодекстрина соответственно обрабатывались инфракрасным излучением в течение одной, двух и трех минут (табл. 2). Толщина слоя, обрабатываемого в рабочей камере продукта, составляла 1 см.

Оценка органолептических качеств осуществлялась путем дегустации пирожного со сливками и изделия колбасного вареного "Докторская", изготовленных с использованием добавок "Сладкие сливки" и "Комбимит Докторская" соответственно в количестве 1 кг добавки на 100 кг продукта. Профильная органолептическая оценка осуществлялась научными сотрудниками ВНИИПД.

Подтверждено, что стерилизация комплексных пищевых добавок достигается уже через одну минуту обработки инфракрасным излучением. При этом за указанное время количество редуцирующих сахаров увеличивается более чем в два раза по сравнению с необработанным образцом. Декстринизация под воздействием инфракрасного излучения эффективно протекает как при обработке мальтодекстринов, выступающих носителями в комплексных пищевых добавках, так и при обработке готовых комплексных добавок после завершения процесса перемешивания.

Остаток добавок на сетках проволочных тканых с квадратными ячейками размером 10, 20 и 50 мкм при продолжительности выдерживания одна, две и три минуты снижается на 1–3, 2–4 и 3–6 % соответственно. Гранулометрический состав комплексных пищевых добавок под воздействием инфракрасного излучения изменяется за счет изменения микро- и макроструктуры носителя.

Массовая доля влаги при обработке готовых добавок снижается более значительно, чем при обработке крахмалопродуктов. Трехминутное воздействие инфракрасным излучением сокращает содержание влаги в комплексных пищевых добавках приблизительно в два раза.

Наилучшие показатели вкуса и запаха готовых продуктов, вырабатываемых с использованием модифицированных пищевых добавок, достигаются при минутной обработке инфракрасным излучением. Увеличение продолжительности обработки ведет к возрастанию технологических потерь и ухудшению органолептических показателей. Потери влаги при трехминутной обработке доходят до 4,6 %. Более длительная обработка ведет к потере летучих душистых веществ и термолабильных субстанций.

Таблица 2. Результаты испытаний комплексных пищевых добавок
 Table 2. Test results of complex food additives

Показатель	Наименование комплексной пищевой добавки							
	"Сладкие сливки"				"Комбимит Докторская"			
	0	1	2	3	0	1	2	3
Продолжительность инфракрасной обработки, мин	0	1	2	3	0	1	2	3
Массовая доля влаги, %	9,8 ± 0,07	8,4 ± 0,06	6,3 ± 0,07	5,2 ± 0,09	9,9 ± 0,06	8,0 ± 0,05	6,1 ± 0,06	5,4 ± 0,10
КМАФАнМ, КОЕ / г	2000 ± 20	0	0	0	1000 ± 20	0	0	0
Массовая доля редуцирующих веществ в пересчете на сухое вещество, %	5,2 ± 0,06	10,9 ± 0,06	15,3 ± 0,07	16,9 ± 0,08	5,1 ± 0,05	10,6 ± 0,07	13,8 ± 0,08	15,0 ± 0,06
Остаток на сетке 50 мкм, %	11 ± 0,1	10 ± 0,2	9 ± 0,2	8 ± 0,2	12 ± 0,2	11 ± 0,2	10 ± 0,2	9 ± 0,3
Остаток на сетке 20 мкм, %	50 ± 0,2	48 ± 0,2	46 ± 0,2	44 ± 0,1	50 ± 0,1	48 ± 0,2	48 ± 0,2	46 ± 0,2
Остаток на сетке 10 мкм, %	59 ± 0,2	56 ± 0,3	55 ± 0,1	54 ± 0,1	64 ± 0,1	61 ± 0,2	59 ± 0,1	56 ± 0,3
Вкус продукта, выработанного с использованием добавки, баллы	4,2	5,0	5,0	4,8	4,0	5,0	5,0	4,8
Запах продукта, выработанного с использованием добавки, баллы	4,0	5,0	4,8	4,8	4,0	5,0	5,0	4,8

При нагревании более трех минут в слое толщиной 1 см возможно также протекание процессов рекомбинации полимеров, составляющих крахмалопродукт. Если на ранних этапах инфракрасной обработки протекает деструкция полисахаридов, то затем возрастает степень их ветвления в результате трансглюкозидации и образования продуктов термического разложения. Цвет получаемого на выходе продукта смещается от белого к коричневому, растворимость падает, вязкость растворов увеличивается. Оптимальный для использования мальтодекстрина в качестве носителя декстрозный эквивалент, составляющий 10 единиц, достигается менее, чем за одну минуту обработки.

Таким образом, определено, что наилучшие результаты по микробиологическим, физико-химическим и органолептическим показателям обеспечиваются обработкой крахмалопродуктов или комплексных пищевых добавок инфракрасным излучением в течение одной минуты. На основании анализа полученных данных разработаны две технологические диаграммы производства комплексных пищевых добавок, одна из которых предполагает обработку сырья (рис. 6), вторая – готовой продукции (рис. 7).

Производственный процесс изготовления комплексных пищевых добавок по инновационным технологиям, предполагающим применение инфракрасного излучения, реализуют следующим образом. Сырье принимают партиями. Каждую партию сырья хранят отдельно до получения заключения лаборатории. Хранение сырья осуществляется в чистых, проветриваемых помещениях, защищенных от прямых солнечных лучей, при температуре от 5 до 20 °С и относительной влажности воздуха не более 75 %.

После получения протоколов лабораторных испытаний, выполненных в соответствии с программой производственного контроля, подготавливают комплекты сырья для их последующего перемешивания. Взвешивание каждого ингредиента производят в отдельной таре из химически инертного материала, и количество каждого ингредиента взвешивают на один замес согласно рецептуре.

Укомплектованное сырье просеивают через вибросита. После просеивания сыпучие пищевые ингредиенты перемещаются в смесители, где поэтапно реализуется процесс перемешивания.

В случае изготовления добавок пищевых комплексных, содержащих в составе жидкие ингредиенты, на первом этапе перемешивания осуществляют впрыскивание жидких ингредиентов, таких как эфирные масла и олеорезины.



Рис. 6. Технологическая диаграмма производства добавок пищевых комплексных с этапом обработки носителя инфракрасным излучением

Fig. 6. Technological diagram for the production of complex food additives with the stage of processing the carrier with infrared radiation

В качестве носителей, используемых при подготовке экстрактов на первом этапе перемешивания, используют соль или предварительно подготовленные крахмалопродукты, например, мальтодекстрин. Процесс предварительной подготовки представляет собой обработку крахмалопродуктов в инфракрасном излучении с длиной волны 7–10 мкм слоем 1 см в течение 1 мин.

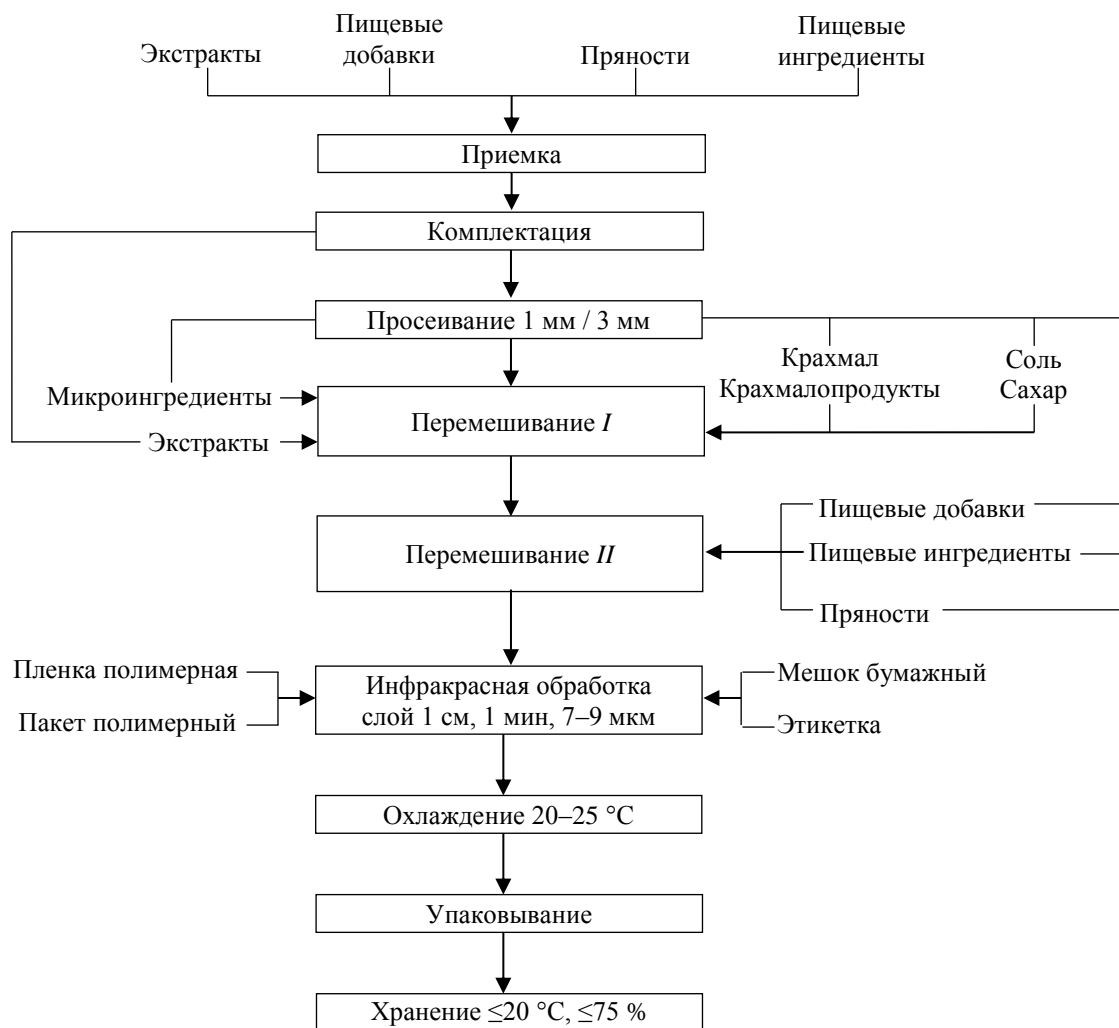


Рис. 7. Технологическая диаграмма производства добавок пищевых комплексных с этапом обработки инфракрасным излучением после перемешивания
Fig. 7. Technological diagram for the production of complex food additives with the stage of processing by infrared radiation after mixing

В результате реализации предварительной подготовки компонентов в соответствии с описанными технологическими параметрами происходит изменение молекулярной структуры крахмалопродуктов, а также повышение их сыпучести и микробиологической чистоты, снижение слеживаемости.

На втором этапе перемешивания к полученному в результате перечисленных выше операций полуфабрикатному продукту добавляют остальные сыпучие ингредиенты в соответствии с рецептурой. Время перемешивания на каждом этапе определяют в зависимости от равномерности распределения ингредиентов.

После перемешивания подготовленные полуфабрикатные продукты передают на упаковывание. Упакованную продукцию хранят при температуре от 5 до 20 °С и относительной влажности воздуха 75 % в течение 12–24 месяцев.

Заключение

В результате выполнения экспериментальных исследований разработан способ модификации крахмалов, крахмалопродуктов и пищевых добавок, направленный на улучшение их микробиологических, физико-химических и органолептических качеств в соответствии с актуальными отраслевыми тенденциями. Изучено влияние инфракрасной обработки на микробиологические, физико-химические и органолептические показатели обрабатываемых крахмалопродуктов и комплексные пищевые добавки. Подтверждено, что при воздействии

кварцевыми электронагревателями с длиной волны 7–10 мкм на слой крахмалов, крахмалопродуктов, добавок пищевых комплексных толщиной 1 см в течение 1 мин достигается стерилизация указанных продуктов. При этом массовая доля влаги снижается менее чем на 1 % в случае обработки мальтодекстринов и менее чем на 2 % в случае обработки готовых смесей, что укладывается в допустимые технологические потери. Массовая доля редуцирующих веществ при такой обработке увеличивается более, чем в два раза, что подтверждает протекание процесса декстринизации. Сопровождающие перечисленные процессы изменение гранулометрического состава комплексных добавок под воздействием инфракрасного излучения способствует повышению сыпучести продукта.

При увеличении продолжительности обработки декстрозный эквивалент становится избыточным для применения мальтодекстринов в качестве носителей в комплексных пищевых добавках. Органолептические показатели готовой продукции, выработанной с использованием в рецептурах добавок, обрабатываемых более двух минут, снижаются. На основании полученных данных разработаны и описаны две технологические диаграммы, поэтапно характеризующие производственный процесс.

Реализуемый проект предполагает обработку крахмалопродуктов с известным декстрозным эквивалентом в смеси с другими компонентами пищевых и вкусоароматических добавок, но не в смеси с другими крахмалопродуктами, что исключает непредсказуемые модификации и обеспечивает получение на выходе из установок мальтодекстринов с известным декстрозным эквивалентом в случае соблюдения рекомендуемых условий обработки.

Разработанные технологии имеют следующие конкурентные преимущества по сравнению с существующими российскими и мировыми аналогами:

1) процесс обработки крахмалов, крахмалопродуктов, добавок пищевых комплексных инфракрасным излучением может реализовываться одностадийно, что снижает его сложность и продолжительность, а также увеличивает технологичность;

2) за счет обработки сырья в твердой фазе исключается энергозатратный и дорогостоящий этап сушки предварительно подготовленной и обработанной суспензии;

3) в противовес традиционно используемым в промышленности инфракрасным лампам с длиной волны 1–2 мкм, подобранная в соответствии с энергиями связей α -(1→4) и α -(1→6) длина волны ИК-излучения 7–10 мкм обеспечивает высокую эффективность обработки, приводя к разрыву указанных связей;

4) поскольку в предложенных технологиях крахмал и крахмалопродукты модифицируются физическим, а не химическим методом, полученный продукт модификации не кодируется индексом "Е" и может использоваться при изготовлении продукции с "чистой этикеткой" в соответствии с текущими потребительскими тенденциями;

5) рассматриваемые изменения происходят как на макро-, так и на молекулярном уровнях, что также повышает эффективность обработки;

б) возможность контролируемого получения при различных условиях обработки мальтодекстринов с различными декстрозными эквивалентами делает технологию универсальной (Школьникова и др., 2021).

На основе разработанной технологии отработаны условия производства более 20 групп добавок пищевых комплексных. Для каждой добавки рекомендованы параметры облучения, обеспечивающие наилучшие органолептические и технологические характеристики каждого продукта. Дальнейшие исследования предполагают расширение ассортимента обрабатываемой продукции, повышение производительности технологических линий, повышение эффективности воздействия за счет комбинации инфракрасного излучения с другими современными методами обработки.

Благодарности

Авторы благодарят коллектив научных сотрудников Волгоградского государственного технического университета (ВолгГТУ) за проведение консультаций по вопросам пищевой химии, Поволжского научно-исследовательского института мясомолочной промышленности (ГНУ НИИММП) и Всероссийского научно-исследовательского института пищевых добавок (ВНИИПД) – филиал Федерального научного центра пищевых систем им. В. М. Горбатова РАН – за предоставление площадок для проведения экспериментальных исследований.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Библиографический список

- Алексеев Г. В., Шанин В. А., Леу А. Г., Бирченко А. А. Использование физических воздействий при интенсификации производства крахмалов // Ползуновский вестник. 2021. № 4. С. 115–122. DOI: <https://doi.org/10.25712/astu.2072-8921.2021.04.016>. EDN: CQMDUA.
- Алтухов И. В., Быкова С. М., Свиная А. М. Влияние ИК-излучения на качественные показатели томатного порошка // Вестник КрасГАУ. 2021. № 11(176). С. 205–211. DOI: <https://doi.org/10.36718/1819-4036-2021-11-205-211>. EDN: MZOAQY.

- Ананских В. В., Шлеина Л. Д., Ананских Л. А. Оптимизация параметров получения мальтодекстрина и кормового продукта из кукурузной муки // Достижения науки и техники АПК. 2017. Т. 31, № 11. С. 91–93. EDN: YMEMRU.
- Андреев Н. Р., Лукин Д. Н., Гольдштейн В. Г. Новые исследования в области химии, технологии и маркетинга крахмала и крахмалопродуктов. О международной конференции "Химия и технология крахмала" г. Детмольд, Германия // Пищевая промышленность. 2017. № 1. С. 25–31. EDN: XXVJKX.
- Апалькова Г. Д., Попова Н. В., Лискунова А. Д. Подходы к формированию рынка пищевых продуктов нового формата // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Сер. Пищевые и биотехнологии. 2020. Т. 8, № 4. С. 5–12. DOI: 10.14529/food200401. EDN: FFPFJH.
- Голубев В. С., Беркович М. И. Здоровое питание: восприятие, динамика, популяризация // Теоретическая экономика. 2020. № 3(63). С. 98–104. EDN: TNGSRM.
- Горлов И. Ф., Мосолова Н. И., Серова О. П., Лопаева Е. А. [и др.]. Инновационная технология переработки молочной сыворотки с использованием модифицированного крахмала // Хранение и переработка сельхозсырья. 2018. № 2. С. 58–61. EDN: UVIZML.
- Довготько Н. А., Андриющенко С. А., Чердниченко О. А., Скиперская Е. В. Опыт Европейского союза по реализации целей устойчивого развития в сельском хозяйстве и возможности его применения в России // Международный сельскохозяйственный журнал. 2021. № 1(379). С. 74–80. EDN: QDYNAT.
- Куракин М. С., Ожерельева А. В., Мотырева О. Г., Крапива Т. В. Новый подход при разработке продукции для предприятий индустрии питания // Техника и технология пищевых производств. 2021. Т. 51, № 3. С. 434–448. DOI: <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2021-3-434-448>. EDN: ZDZMEX.
- Новокшанова А. Л., Матвеева Н. О., Невский А. А. Взаимосвязь углеводного состава мальтодекстрина и органолептических показателей концентрата творожной сыворотки, полученного наночистотой // Ползуновский вестник. 2020. № 3. С. 39–43. DOI: <https://doi.org/10.25712/astu.2072-8921.2020.03.007>. EDN: VPEWGS.
- Рыжкова В. С., Литвяк В. В., Батын А. Н., Росляков Ю. Ф. [и др.]. Получение и исследование мальтодекстринов // Проблемы развития АПК региона. 2018. № 4(36). С. 190–202. EDN: YRSFBJ.
- Способ модификации вкусоароматических добавок, крахмалов и крахмалопродуктов: пат. 2796675 Рос. Федерация / Шешнев К. В. ; № 2021117175 ; заявл. 12.06.2021 ; опубл. 29.05.2023, Бюл. № 16.
- Способ получения модифицированного окисленного крахмала : пат. 1165683 СССР / Кузнецова И. И., Коваленок В. А., Трегубов Н. Н. ; № 3724563 ; заявл. 13.04.1984, опубл. 07.07.1985.
- Тихомирова В. А. Реализация доктрины продовольственной безопасности России: оценка и перспективы развития // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Экономика. 2020. № 4. С. 751–764. DOI: <https://doi.org/10.22363/2313-2329-2020-28-4-751-764>. EDN: REWMPU.
- Шариков А. Ю., Амелякина М. В., Иванов В. В., Поливановская Д. В. Ферментативный гидролиз экструдированного кукурузного крахмала в условиях высокой концентрации среды // Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2020. № 21(4). С. 425–433. DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2020.21.4.425-433>. EDN: YHEGTS.
- Шешнев К. В., Мартынов А. А., Сложенкина М. И., Селезнева Е. А. Эффективность использования микроволнового излучения в технологии производства вкусоароматических добавок // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: Наука и высшее профессиональное образование. 2022. № 1(65). С. 319–331. DOI: <https://doi.org/10.32786/2071-9485-2022-01-31>. EDN: CJTLYZ.
- Школьникова М. Н., Воронова Е. В. Микрокапсулирование полифенолов как способ повышения их биодоступности в составе пищевых систем: обзор современных технологий // Индустрия питания. 2021. Т. 6, № 2. С. 90–98. DOI: <https://doi.org/10.29141/2500-1922-2021-6-2-11>. EDN: YRZHLR.
- Юркова А. А. Пищевые добавки в составе популярных продуктов // Международный журнал гуманитарных и естественных наук. 2021. № 5–1(56). С. 91–94. DOI: 10.24412/2500-1000-2021-5-1-91-94. EDN: GYVHUW.
- Das A., Sit N. Modification of taro starch and starch nanoparticles by various physical methods and their characterization // Starch – Stärke. 2021. Vol. 73, Iss. 5–6. Article number: 2000227. DOI: <https://doi.org/10.1002/star.202000227>.
- Gong H., Song X., Zhang J., Zhang B. Effects of dry heat treatment on characteristics of hydrophobically modified rice starch and its emulsification in pickering emulsion // Starch – Stärke. 2022. Vol. 74, Iss. 1–2. Article number: 2100131. DOI: <https://doi.org/10.1002/star.202100131>.
- Kingsley M. Clean-label starch innovations are quickly expanding applications for food, beverage formulators // Nutritional Outlook. 2018. Vol. 20, Iss. 10. P. 36–46.
- Los F. G. B., Chezini A., Piroski C. S., Lacerda L. G. Evaluation of physicochemical properties of starch from Brazilian *Carioca* beans (*Phaseolus vulgaris*) // Starch – Stärke. 2022. Vol. 74, Iss. 1–2. Article number: 2000281. DOI: <https://doi.org/10.1002/star.202000281>.
- Martynov A. A., Sheshnev K. V., Selezneva E. A., Bukhantsev O. V. Using microwave radiation in the technology of producing flavor additives // International Research Journal. 2024. Iss. 1(139). DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2024.139.100>.

- Öztürk Y. S., Dolaz M. Synthesis and characterization of hydroxyethyl starch from chips wastes under microwave irradiation // *Journal of Polymers and the Environment*. 2021. Vol. 29. P. 948–957. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10924-020-01935-0>.
- Park S., Kim Y.-R. Clean label starch: Production, physicochemical characteristics, and industrial applications // *Food Science and Biotechnology*. 2021. Vol. 30. P. 1–17. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10068-020-00834-3>.
- Physical modifications of starch / eds.: Sui Z., Kong X. Springer Singapore, 2018. 174 p. DOI: <https://doi.org/10.1007/978-981-13-0725-6>.
- Semwal J., Meera M. S. Infrared radiation: Impact on physicochemical and functional characteristics of grain starch // *Starch – Stärke*. 2021. Vol. 73, Iss. 3–4. Article number: 2000112. DOI: <https://doi.org/10.1002/star.202000112>.

References

- Alekseev, G. V., Shanin, V. A., Leu, A. G., Birchenko, A. A. 2021. The use of physical influences in the intensification of starch production. *Polzunovskiy Vestnik*, 4, pp. 115–122. DOI: <https://doi.org/10.25712/astu.2072-8921.2021.04.016>. EDN: CQMDUA. (In Russ.)
- Altukhov, I. V., Bykova, S. M., Svinareva, A. M. 2021. Influence of IR radiation on the quality indicators of tomato powder. *Bulletin of KSAU*, 11(176), pp. 205–211. DOI: <https://doi.org/10.36718/1819-4036-2021-11-205-211>. EDN: MZOAQY. (In Russ.)
- Ananskikh, V. V., Shleina, L. D., Ananskikh, L. A. 2017. Optimization of parameters for the production of maltodextrin and feed product from corn. *Achievements of Science and Technology in AGRO-Industrial Complex*, 31(11), pp. 91–93. EDN: YMEMRU. (In Russ.)
- Andreev, N. R., Lukin, D. N., Goldstein, V. G. 2017. New research in the field of chemistry, technology and marketing of starch and starch products. On the international conference "Chemistry and technology of starch". *Food Industry*, 1, pp. 25–31. EDN: XXBJKX. (In Russ.)
- Apalkova, G. D., Popova, N. V., Liskunova, A. D. 2020. Approaches to the formation of the food market of a new format. *Bulletin of the South Ural State University. Series: Food and Biotechnology*, 8(4), pp. 5–12. DOI: [10.14529/food200401](https://doi.org/10.14529/food200401). EDN: FFPFJH. (In Russ.)
- Golubev, V. S., Berkovich, M. I. 2020. Healthy nutrition: Perception, dynamics, popularization. *Theoretical Economics*, 3(63), pp. 98–104. EDN: TNGSRM. (In Russ.)
- Gorlov, I. F., Mosolova, N. I., Serova, O. P., Lopaeva, E. A. 2018. Innovative technology for processing whey using modified starch. *Storage and Processing of Farm Products*, 2, pp. 58–61. EDN: UVIZML. (In Russ.)
- Dovgotko, N. A., Andryushchenko, S. A., Cherednichenko, O. A., Skiperskaya, E. V. 2021. Experience of the European Union on the implementation of sustainable development goals in agriculture and the possibility of its application in Russia. *International Agricultural Journal*, 1(379), pp. 74–80. EDN: QDYNAT. (In Russ.)
- Kurakin, M. S., Ozhereleva, O. V., Motyeva, O. G., Krapiva, T. V. 2021. A new approach to the development of products for food industry enterprises. *Food Processing: Techniques and Technology*, 51(3), pp. 434–448. DOI: <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2021-3-434-448>. EDN: ZDZMEX. (In Russ.)
- Novokshanova, A. L., Matveeva, N. O., Nevsky, A. A. 2020. The relationship between the carbohydrate composition of maltodextrin and the organoleptic characteristics of curd whey concentrate obtained by nanofiltration. *Polzunovskiy Vestnik*, 3, pp. 39–43. DOI: <https://doi.org/10.25712/astu.2072-8921.2020.03.007>. EDN: VPEWGS. (In Russ.)
- Ryzhkova, V. S., Litvyak, V. V., Batyan, A. N., Roslyakov, Yu. F. et al. 2018. Preparation and study of maltodextrins. *Development Problems of Regional Agro-Industrial Complex*, 4(36), pp. 190–202. EDN: YRSFBJ. (In Russ.)
- Sheshnev, K. V. 2023. Method for modifying flavoring additives, starches and starch products, Russian Federation, Pat. 2796675. (In Russ.)
- Kuznetsova, I. I., Kovalenok, V. A., Tregubov, N. N. 1985. Method for producing modified oxidized starch, Russian Federation, Pat. 1165683. (In Russ.)
- Tikhomirova, V. A. 2020. Implementation of the doctrine of food security in Russia: Assessment and development prospects. *RUDN Journal of Economics*, 4, pp. 751–764. DOI: <https://doi.org/10.22363/2313-2329-2020-28-4-751-764>. EDN: REWMPU. (In Russ.)
- Sharikov, A. Yu., Amelyakina, M. V., Ivanov, V. V., Polivanovskaya, D. V. 2020. Enzymatic hydrolysis of extruded corn starch in a highly concentrated environment. *Agricultural Science Euro-North-East*, 21(4), pp. 425–433. DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2020.21.4.425-433>. EDN: YHEGTS. (In Russ.)
- Sheshnev, K. V., Martynov, A. A., Slozhenkina, M. I., Selezneva, E. A. 2022. Efficiency of using microwave radiation in the technology of production of flavoring additives. *Proceedings of Lower Volga Agro-University Complex: Science and Higher Education*, 1(65), pp. 319–331. DOI: <https://doi.org/10.32786/2071-9485-2022-01-31>. EDN: CJTLYZ. (In Russ.)

- Shkolnikova, M. N., Voronova, E. V. 2021. Microencapsulation of polyphenols as a way to increase their bioavailability in food systems: A review of modern technologies. *Food Industry*, 6(2), pp. 90–98. DOI: <https://doi.org/10.29141/2500-1922-2021-6-2-11>. EDN: YRZHLR. (In Russ.)
- Yurkova, A. A. 2021. Food additives in popular products. *International Journal of Humanities and Natural Sciences*, 5–1(56), pp. 91–94. DOI: 10.24412/2500-1000-2021-5-1-91-94. EDN: GYVHUW. (In Russ.)
- Das, A., Sit, N. 2021. Modification of taro starch and starch nanoparticles by various physical methods and their characterization. *Starch – Stärke*, 73(5–6). Article number: 2000227. DOI: <https://doi.org/10.1002/star.202000227>.
- Gong, H., Song, X., Zhang, J., Zhang, B. 2022. Effects of dry heat treatment on characteristics of hydrophobically modified rice starch and its emulsification in pickering emulsion. *Starch – Stärke*, 74(1–2). Article number: 2100131. DOI: <https://doi.org/10.1002/star.202100131>.
- Kingsley, M. 2018. Clean-label starch innovations are quickly expanding applications for food, beverage formulators. *Nutritional Outlook*, 20(10), pp. 36–46.
- Los, F. G. B., Chezini, A., Piroski, C. S., Lacerda, L. G. 2022. Evaluation of physicochemical properties of starch from Brazilian *Carioca* beans (*Phaseolus vulgaris*). *Starch – Stärke*, 74(1–2). Article number: 2000281. DOI: <https://doi.org/10.1002/star.202000281>.
- Martynov, A. A., Sheshnev, K. V., Selezneva, E. A., Bukhantsev, O. V. 2024. Using microwave radiation in the technology of producing flavor additives. *International Research Journal*, 1(139). DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2024.139.100>.
- Öztürk, Y. S., Dolaz, M. 2021. Synthesis and characterization of hydroxyethyl starch from chips wastes under microwave irradiation. *Journal of Polymers and the Environment*, 29, pp. 948–957. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10924-020-01935-0>.
- Park, S., Kim, Y.-R. 2021. Clean label starch: Production, physicochemical characteristics, and industrial applications. *Food Science and Biotechnology*, 30, pp. 1–17. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10068-020-00834-3>.
- Physical modifications of starch. Eds.: Sui Z., Kong X. Springer Singapore, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1007/978-981-13-0725-6>.
- Semwal, J., Meera, M. S. 2021. Infrared radiation: Impact on physicochemical and functional characteristics of grain starch. *Starch – Stärke*, 73(3–4). Article number: 2000112. DOI: <https://doi.org/10.1002/star.202000112>.

Сведения об авторах

Шешнев Кирилл Вадимович – ул. Краснополянская, 72, г. Волгоград, Россия, 400075;
ООО "Специо", директор;
e-mail: martynov.a@spezio.ru, ORCID: <https://orcid.org/0009-0004-7052-7964>

Kirill V. Sheshnev – 72D Krasnopolyanskaya Str., Volgograd, Russia, 400075;
Spezio LLC, Director;
e-mail: hello@spezio.ru, ORCID: <https://orcid.org/0009-0004-7052-7964>

Мартынов Антон Андреевич – ул. Краснополянская, 72, г. Волгоград, Россия, 400075;
ООО "Специо", канд. с.-х. наук, технолог;
e-mail: martynov.a@spezio.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2485-7792>

Anton A. Martynov – 72D Krasnopolyanskaya Str., Volgograd, Russia, 400075;
Spezio LLC, Cand. Sci. (Agriculture), Technologist;
e-mail: martynov.a@spezio.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2485-7792>

Селезнева Екатерина Анатольевна – пр. им. В. И. Ленина, 28, г. Волгоград, Россия, 400005;
Волгоградский государственный технический университет, ст. преподаватель;
e-mail: sea@vstu.ru, ORCID: <https://orcid.org/0009-0000-9834-831X>

Ekaterina A. Selezneva – 28 V. I. Lenin Ave., Volgograd, Russia, 400005;
Volgograd State Technical University; Senior Lecturer;
e-mail: sea@vstu.ru, ORCID: <https://orcid.org/0009-0000-9834-831X>

Буханцев Олег Васильевич – пр. Литейный, 55, г. Санкт-Петербург, Россия, 190000;
Всероссийский научно-исследовательский институт пищевых добавок – филиал Федерального научного центра пищевых систем им. В. М. Горбатова РАН, канд. биол. наук;
e-mail: ovbyh@rambler.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9337-9897>

Oleg V. Buhancev – 55 Liteiny Ave., St. Petersburg, Russia, 190000; All-Russian Research Institute of Food Additives – branch of the V. M. Gorbатов Federal Scientific Center of Food Systems RAS, Cand. Sci. (Biology);
e-mail: ovbyh@rambler.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9337-9897>

Приложение

Нормативные документы, использованные в статье

ГОСТ 10444.15	Продукты пищевые. Методы определения количества мезофильных аэробных и факультативно-анаэробных микроорганизмов. Минск, 1995.
ГОСТ 15113.4	Концентраты пищевые. Гравиметрические методы определения массовой доли влаги. М., 2021.
ГОСТ 26669	Продукты пищевые и вкусовые. Подготовка проб для микробиологических анализов. М., 1991.
ГОСТ 31904	Продукты пищевые. Методы отбора проб для микробиологических испытаний. М., 2012.
ГОСТ 33444	Крахмал и крахмалопродукты. Методы отбора проб. М., 2016.
ГОСТ 6613	Сетки проволочные тканые с квадратными ячейками. Технические условия. М, 1998.

УДК 664.95

Использование методов нетермической обработки для обеспечения качества и безопасности рыбы и других гидробионтов. Обзор предметного поля

Л. Ч. Бурак

Общество с ограниченной ответственностью "БЕЛРОСАКВА", г. Минск, Республика Беларусь;
e-mail: leonidburak@gmail.com, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6613-439X>

Информация о статье Реферат

Поступила
в редакцию
06.06.2024;

принята к публикации
19.07.2024

Ключевые слова:

рыба,
рыбная продукция,
обработка,
нетермическая
технология,
сверхвысокое давление,
импульсное поле,
холодная плазма,
микробиологическая
безопасность, качество

Продукты водного происхождения относятся к числу наиболее скоропортящихся. Термическая обработка, включая стерилизацию, сушку и выпаривание, может привести к нежелательным изменениям, таким как снижение их пищевой ценности или ухудшение органолептических показателей. Целью статьи является обзор результатов научных исследований нетермических методов обработки рыбы и других гидробионтов для ингибирования бактерий, обеспечения микробиологической безопасности и сохранения качества. Группы первичных бактерий, вызывающих порчу, различаются у рыб, ракообразных и моллюсков в зависимости от условий и продолжительности хранения. Методы нетермической обработки, такие как сверхвысокое давление, облучение, импульсное электрическое поле и низкотемпературная плазма, показали значительные результаты в подавлении роста микробов и увеличении срока хранения продуктов водного происхождения. Вместе с тем неопределенные параметры обработки и характеристики самой технологии могут привести к таким неблагоприятным последствиям, как окисление липидов и деградация белков во время стерилизации. Нетермическая обработка может использоваться в сочетании с антиоксидантными композитными покрытиями (мембранами) для задержки окисления липидов и белков и улучшения физических, химических и органолептических свойств рыбной продукции. Возможно комбинировать несколько методов нетермической обработки, что позволит компенсировать недостатки одной технологии действием другого способа нетермического воздействия. Дальнейшие научные исследования должны быть направлены на установление оптимальных режимов обработки, возможности комбинированного использования нетермических методов с другими технологиями, такими как упаковка в модифицированной атмосфере, с целью определения механизмов порчи и улучшения качества хранения продуктов водного происхождения, а также дальнейшего промышленного внедрения современных методов обработки. "БЕЛРОСАКВА"

Для цитирования

Бурак Л. Ч. Использование методов нетермической обработки для обеспечения качества и безопасности рыбы и других гидробионтов. Обзор предметного поля. Вестник МГТУ. 2024. Т. 27, № 3. С. 343–360. DOI: <https://doi.org/10.21443/1560-9278-2024-27-3-343-360>.

Use of non-thermal treatment methods to ensure the quality and safety of fish and other hydrobionts. Overview of the subject field

Leonid Ch. Burak

Limited Liability Company BELROSAKVA, Minsk, Republic of Belarus;
e-mail: leonidburak@gmail.com, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6613-439X>

Article info

Received
06.06.2024;

accepted
19.07.2024

Key words:

fish, fish products,
processing,
non-thermal technology,
ultra-high pressure,
pulsed field,
cold plasma,
microbiological safety,
quality

Abstract

Products of aquatic origin are among the most perishable products. Heat processing, including sterilization, drying and evaporation, can lead to undesirable changes in food products, such as a decrease in their nutritional value or deterioration in organoleptic characteristics. The purpose of the paper is to review the results of scientific research on non-thermal methods of processing fish and other aquatic organisms to inhibit bacteria, ensure microbiological safety and maintain quality. The groups of primary spoilage bacteria vary among fish, crustaceans and mollusks depending on storage conditions and duration. Non-thermal processing methods such as ultra-high pressure, irradiation, pulsed electric field and low-temperature plasma have shown significant results in inhibiting microbial growth and increasing the shelf life of aquatic products. However, uncertain processing parameters and characteristics of the technology itself can lead to adverse effects such as lipid oxidation and protein degradation during sterilization. Non-thermal processing can be used in combination with antioxidant composite coatings (membranes) to delay the oxidation of lipids and proteins and improve the physical, chemical and sensory properties of fish products. It is possible to combine several methods of non-thermal treatment, which will make it possible to compensate for the shortcomings of one technology by the action of another method of non-thermal exposure. Further scientific research should be aimed at establishing optimal processing modes, the possibility of combining non-thermal methods with other technologies, such as modified atmosphere packaging in order to determine the mechanisms of spoilage and improve the quality of storage of products of aquatic origin, as well as further industrial implementation of modern processing methods. BELROSAKVA

For citation

Burak, L. Ch. 2024. Use of non-thermal treatment methods to ensure the quality and safety of fish and other hydrobionts. Overview of the subject field. *Vestnik of MSTU*, 27(3), pp. 343–360. (In Russ.) DOI: <https://doi.org/10.21443/1560-9278-2024-27-3-343-360>.

Введение

Рыба и другие продукты водного происхождения являются жизненно важным источником питания человека, богаты белком, полиненасыщенными жирными кислотами, витаминами и минералами и ценятся потребителями за свой вкус. Они содержат необходимые микроэлементы, такие как докозагексаеновая и эйкозапентаеновая кислоты, которые могут улучшить работу мозга и снизить риск сердечно-сосудистых заболеваний и некоторых видов рака (*Tocher et al., 2019*). Мировое потребление продуктов водного происхождения, включая рыбу, ракообразных и моллюсков, в последние годы резко возросло. В 2020 г. мировое производство достигло 178 млн т, что обеспечивает примерно одну пятую мирового потребления животного белка (Продовольственная и сельскохозяйственная организация [ФАО], 2022)¹. К 2050 г. годовое производство может увеличиться на 21–44 млн т, что составит 12–25 % мяса, необходимого для питания примерно 9,8 млрд человек (*Christopher et al., 2020*). Продукты водного происхождения относятся к числу наиболее скоропортящихся продуктов. Ежегодно миллионы тонн теряются или ухудшаются их питательные свойства, что составляет до 35 % мирового производства, что выше, чем производство зерновых (30 %), масличных культур (20 %), а также мяса и молочных продуктов (20 %) (*David et al., 2023*). Микробный состав продуктов водного происхождения коррелирует с процессами и характеристиками порчи (*Huina et al., 2022*). Первоначально во время хранения микробиологическая обсемененность и ее разнообразие незначительны (*Liang et al., 2022*). По мере увеличения срока хранения такие виды бактерий, как *Shewanella*, *Pseudomonas*, *Photobacterium* и *Brochotrix*, становятся доминирующими (*Huina et al., 2022; Li et al., 2020; Parlapani et al., 2023; Zhuang et al., 2022*), что в конечном итоге приводит к порче. Эти бактерии известны как микроорганизмы, вызывающие порчу (МОП), которые участвуют в расщеплении белков мышц и соединительной ткани на аминокислоты и пептиды, а также в катаболизме нуклеотидов, углеводов и соединений азота. Они производят газы, вызывающие порчу, такие как летучие органические соединения (ЛОС) и биогенные амины (БА), которые играют решающую роль в процессе порчи. Поэтому подавление роста МОП будет способствовать сохранению рыбной продукции и возможности оставаться свежей.

Традиционно водные продукты консервируют путем замораживания, применения химических консервантов и термической обработки (*Lu et al., 2022; Semra et al., 2023*). Хотя эти методы могут предотвратить рост микробов, они также оказывают нежелательное действие. Замораживание может привести к образованию крупных кристаллов льда неправильной формы во внелеточной области замороженного мяса и мясных продуктов, вызывая повреждение тканей и приводя к потере качества и питательных веществ при оттаивании (*Lu et al., 2022*). Безопасность химических консервантов часто подвергается сомнению из-за их потенциальной токсичности и связи с различными заболеваниями, связанными с регулярным употреблением (*Yan et al., 2023*). Термическая обработка, включая стерилизацию, сушку и выпаривание, может привести к нежелательным изменениям в пищевых продуктах, таким как снижение их пищевой ценности или нежелательные сенсорные свойства (*Odeyemi et al., 2018*). Кроме того, растущий потребительский спрос на ингредиенты с "чистой этикеткой" и натуральные продукты питания способствует необходимости поиска и изучения более устойчивых способов сохранения продуктов питания.

В качестве альтернативы традиционным способам консервирования методы нетермической обработки, такие как обработка сверхвысоким давлением (СВД), облучение, магнитное поле и холодная плазма (ХП), могут минимизировать рост патогенных микроорганизмов и организмов, вызывающих порчу, без изменения свойств пищевых продуктов. Нетермическая обработка эффективно используется для инактивации микробов во фруктовых соках (*Linhares et al., 2020*), пробиотиках (*Asaithambi et al., 2021*), молочных продуктах (*Neokleous et al., 2022*) и мясе (включая птицу, домашний скот и морепродукты) (*Andoni et al., 2021*). Авторы исследования *Zhuang et al. (2021)* продемонстрировали связь между составом микробиоты и порчей рыбы/ракообразных и рассмотрели различные методы контроля качества, в частности консерванты растительного происхождения. *Lin et al. (2022b)* и *Peng et al. (2022)* проанализировали роль микроорганизмов в порче креветок и отметили потенциальные преимущества технологий активных пленок/покрытий и различных методов консервирования (например, упаковка в модифицированной атмосфере (МАР), высокое давление, облучение и холодная плазма).

Основные цели данной обзорной статьи – анализ и характеристика основных видов микроорганизмов порчи рыбы и рыбной продукции, описание процессов микробиологической порчи, принципы и характеристики ингибирования при нетермической обработке и применение нетермической обработки для обеспечения микробиологической безопасности и физико-химического качества рыбной продукции – рыбы, ракообразных и моллюсков.

Материалы и методы

Поиск научной литературы на английском языке по вопросам исследований нетермических методов обработки рыбы и других гидробионтов для ингибирования бактерий, обеспечения микробиологической

¹ The State of World Fisheries and Aquaculture (SOFIA) 2022. URL: https://knowledge4policy.ec.europa.eu/publication/state-world-fisheries-aquaculture-sofia-2022_en.

безопасности и сохранения качества проводили в библиографических базах Scopus, Web of Science. Материалами для исследования послужили 97 статей. В качестве временных рамок для обзора научных публикаций был принят период 2015–2024 гг. Более ранние научные статьи изучали только при отсутствии новых публикаций по теме исследования. При выполнении работы использованы научные методы: поиск и скрининг научной литературы, извлечение данных, их анализ, систематизация и обобщение. Критерии включения и исключения для статей, подлежащих анализу, были следующими.

Критерии включения:

- 1) статья написана в 2015–2024 годы;
- 2) статья соответствует теме исследования;
- 3) типы анализируемых статей – оригинальные исследовательские статьи, обзорные статьи, краткие отчеты.

Критерии исключения:

- 1) статья не соответствует теме данного обзора: не касается тематики нетермической обработки рыбы и других видов продуктов водного происхождения, их влияния на качественные показатели и изменения в процессе обработки;
- 2) статья написана не на английском языке;
- 3) содержание статьи дублируется. Если из разных баз данных или разных электронных библиотечных систем были извлечены повторяющиеся источники, их классифицировали только один раз.

Анализ и систематизация данных:

Результаты анализа были представлены в виде таблиц и диаграмм для визуализации данных. Для обзора предметного поля проведенного исследования использовали алгоритм в соответствии с протоколом PRIZMA.

Результаты и обсуждение

1. Характеристика бактерий порчи рыбы и других гидробионтов

Продукты водного происхождения, такие как рыба и ракообразные, после смерти претерпевают ряд физических и химических изменений (Peng et al., 2022). Во время порчи консистенция становится все мягче, а макромолекулярные соединения, такие как белки, жиры и гликоген, постепенно разлагаются до соединений с более низкой молекулярной массой, которые легкодоступны микроорганизмам. Впоследствии образуются биогенные амины (БА) и соединения с неприятным запахом, характерные для порчи (Samirah et al., 2018). В начале хранения микробный состав мяса рыбы/ракообразных резко меняется, обычно в виде снижения численности и разнообразия микробов (Huang et al., 2022; Zhuang et al., 2021). При увеличении времени хранения происходит рост только некоторых видов бактерий, которые доминируют над общей бактериальной флорой, что приводит к возможной порче (Huang et al., 2022; Zhang et al., 2022). Среди преобладающих микроорганизмов к микроорганизмам порчи (МОП) относятся только те, которые способны продуцировать метаболиты в количествах, достаточных для того, чтобы являться основной причиной порчи. Группы бактерий, вызывающих порчу, зависят от вида продукта, условий обработки, температуры хранения и микробного взаимодействия. МОП может принадлежать только к одному микробному роду или виду, тогда как группы бактерий, вызывающих порчу, могут включать более чем одну микробную группу или род.

1.1. Рыба

Изначальная микробиота рыб обычно включает виды *Pseudomonas*, *Shewanella*, *Psychrobacter*, *Pseudoalteromonas*, *Moraxella*, *Acinetobacter*, *Flavobacterium*, *Vibrio*, *Photobacterium* и *Aeromonas* (Huang et al., 2022; Zhuang et al., 2022). При увеличении срока хранения *Pseudomonas* spp. и виды *Shewanella* зачастую являются доминирующими бактериями, вызывающими порчу. Zhuang et al. (2022) построили путь деградации белка у белого амура (*Stenopharyngodon idella*) и определили характеристики порчи трех доминирующих видов бактерий – *Aeromonas*, *Pseudomonas* и *Shewanella*. Результаты данного исследования показали, что *Shewanella* spp. продемонстрировали самый высокий потенциал порчи среди протестированных бактерий. Huang et al. (2022) установили, что виды *Pseudomonas*, *Acinetobacter* spp. и *Aeromonas* spp. в холодильных хранилищах сурими толстолобика (*Hypophthalmichthys molitrix*) преобладали, *Pseudomonas* spp. является основным агентом деградации белка. Оба вида *Pseudomonas* и *Acinetobacter* spp. продуцировали значительные количества путресцина, тогда как *Aeromonas* spp. производил кадаверин. Zhang et al. (2022) использовали высокопроизводительное секвенирование и газовую хроматографию-масс-спектрометрию для изучения тилапии при охлаждении до температуры 4 °C, установив, что *Shewanella putrefaciens* с ее высокой способностью к адгезии значительно изменяет кишечную микрофлору рыб, что приводит к увеличению количества кишечных бактерий, таких видов как *Plesionomas*, *Macellibacteroides*, *Acinetobacter* и *Legionella*. Это изменение привело к увеличению содержания в рыбе летучих веществ, таких как низшие альдегиды, спирты и кетоны, что вызвало серьезное окисление жирных кислот и усиление рыбного запаха. Значительная способность *Pseudomonas* к порче была также продемонстрирована на тунце (*Thunnus albacares*) (Gadoin

et al., 2022). Другие основные бактерии, вызывающие порчу, включают *Psychrobacter*, *Acinetobacter*, *Aeromonas*, *Carnobacterium* и *Brochothrix thermosphacta* (Huang et al., 2021; 2022).

1.2. Ракообразные

Ракообразные ценятся за свой приятный вкус и пищевую ценность, поскольку они богаты высококачественным белком, незаменимыми аминокислотами, свободными аминокислотами, ненасыщенными жирными кислотами (особенно длинноцепочечными жирными кислотами омега-3) и макроэлементами (Mg^{2+} , Ca^{2+}) (Peng et al., 2022). Однако из-за роста микробов и метаболизма ракообразные подвержены значительной порче. Исходная микробная флора свежего мяса креветок и крабов обычно включает *Sphingomonas*, *Carnobacterium*, *Psychrobacter*, *Streptococcus*, *Photobacterium*, *Acinetobacter*, *Pseudomonas*, *Pseudahrensia*, *Enterobacter*, *Staphylococcus*, *Shewanella* и *Vibrio* (Cen et al., 2021; Jia et al., 2019). Условия хранения существенно влияют на преобладающий вид бактерий порчи креветок в конце хранения. Основные микроорганизмы, вызывающие порчу, также различаются в зависимости от температуры хранения. При температуре 0 °C основными бактериями, вызывающими порчу, являются виды *Pseudomonas*, *Candidatus bacilloplasma* и *Psychromonas* spp. (Jia et al., 2019). При 4 °C преобладают виды *Psychrobacter*, *Pseudomonas*, *Shewanella* и *Acinetobacter* (Cen et al., 2021). У тихоокеанских белых креветок (*Penaeus vannamei*) наблюдается постепенное снижение микробиологической обсемененности при охлаждении (Cen et al., 2021). Lin et al. (2022c) исследовали микроорганизмы, вызывающие порчу, в гепатопанкреасе и мышцах грязевых крабов (*Scylla paramamosain*). Авторы установили, что бактериальные сообщества в мышцах различаются более значительно, чем в гепатопанкреасе, и предположили, что более сложный состав доминирующих бактериальных групп в мышцах может привести к более вариабельной бактериальной реакции.

1.3. Моллюски

Относительные пропорции белков, липидов, углеводов и воды определяют характерную структуру, вкус, текстуру, цвет и пищевую ценность моллюсков. В отличие от большинства рыб и ракообразных, которые практически не содержат углеводов, мясо моллюсков отличается высоким содержанием углеводов и низким содержанием азота. Устрицы имеют короткий срок хранения из-за высокого содержания свободного аммиачного азота и разнообразной микробиоты. У моллюсков основным источником энергии является гликоген, хранящийся в тканях. При переваривании гликогена образуется молочная кислота, которая снижает pH, способствуя избирательной колонизации кислотоустойчивых микроорганизмов, таких как молочнокислые бактерии (МКБ), стрептококки и дрожжи, которые начинают доминировать в популяции. Исходная микробная флора свежих моллюсков включает *Vibrio*, *Shewanella*, *Pseudoalteromonas*, *Psychrobacter*, *Arcobacter*, *Anaplasmataceae* и *Mycobacteriaceae*. Тихоокеанские устрицы (*Crassostrea gigas*), восточные устрицы (*Crassostrea virginica*) и пресноводные моллюски (*Corbicula fluminea*) подвержены воздействию таких видов как *Vibrio*, *Shewanella* и *Pseudoalteromonas*, способных вызывать порчу (Chen et al., 2019; Lin et al., 2022a).

2. Изменения качества продуктов водного происхождения, вызванные бактериями порчи

Рост и метаболизм микроорганизмов являются основными причинами порчи водных продуктов. Во время хранения микробный метаболизм соединений углерода и азота играет значительную роль в порче рыбы и ракообразных (Lou et al., 2021; Zhuang et al., 2021). Следует выделить следующие пути микробного метаболизма: пептиды и аминокислоты, малые молекулы азота, нуклеотиды и углеводы. Протеазы, секретируемые микроорганизмами, гидролизуют белки водных продуктов на пептиды и аминокислоты, вызывая изменения физико-химических свойств, таких как pH, текстура, цвет и водоудерживающая способность (Huang et al., 2021; 2022). Образующиеся аминокислоты и полипептиды транспортируются в бактериальные клетки с последующей деградацией полипептидов до аминокислот (Zhuang et al., 2021). Свободные аминокислоты декарбоксилируются, а альдегиды кетоенилируются, трансаминируются, окисляются или восстанавливаются микробными декарбоксилазами до кетокилот, ненасыщенных жирных кислот, насыщенных жирных кислот, аммиака, кадаверина, путресцина, гистамина, сероводорода, тиолов и индолов. Лизин становится кадаверином; орнитин – путресцином; гистидин становится гистамином; цистеин, метионин и цистин превращаются в сероводород, метилмеркаптан, гексилмеркаптан и так далее, триптофан превращается в индол, и все это способствует возникновению запаха порчи (Huina et al., 2022; Zhang et al., 2022; Zhuang et al., 2022). Аминокислоты, оксид триметиламина (ТМА) и другие азотистые соединения превращаются в ЖК, в том числе ТМА, аденозинтрифосфат (АТФ) и тирамин. Такие виды, как *Shewanella*, *Photobacterium* и *Vibrio*, могут производить ТМА (Rathod et al., 2022). Глюкоза является наиболее часто используемым большинством бактерий углеводным субстратом. Глюкоза и лактоза могут использоваться микроорганизмами, такими как *Shewanella* spp. и виды *Pseudomonads*, для производства ацетата, сукцината, лактата и т. д. (Zhao et al., 2019). Катаболизм АТФ включает деградацию АТФ до аденозиндифосфата, аденозинмонофосфата, инозинмонофосфата (ИМФ), инозина (HxR) и гипоксантина (Hx), а затем до более мелких молекул. Нуклеотиды постепенно расщепляются с образованием IMP, HxR и Hx под действием нуклеотидаз микроорганизмов, таких как *Shewanella* spp. и *Photobacterium* spp. (Huang et al., 2021). Такие

виды, как *Shewanella*, *Pseudomonas*, *Photobacterium* и *Brochothrix*, участвуют во многих метаболических путях, которые приводят к порче водных продуктов. *Shewanella* может регулировать транспорт аминокислот и экспрессию генов, связанных с метаболизмом, а также окислять ТМАО, что приводит к образованию аминов, спиртов, альдегидов, кетонов и сульфидов, и в итоге – к порче водных продуктов (Lou et al., 2021; Zhang et al., 2022). Род грамотрицательных бактерий *Pseudomonas* обладает высокой способностью использовать свободные аминокислоты, образуя при этом летучие вещества, пахучие сульфиды, сложные эфиры и амины (Parlapani et al., 2023). *Photobacterium* spp. обладает необходимыми генами пентозофосфатного пути утилизации углеводов, а также генами, необходимыми для метаболизма глицерина (Hauschild et al., 2022). Таким образом, *Photobacterium* spp. могут использовать углеводы и липиды, способны ускорять преобразование родственных свободных аминокислот, таких как гистамин, кадаверин и путресцин, путем секреции гистидиндекарбоксилазы, лизиндекарбоксилазы и орнитиндекарбоксилазы (Bjornsdottir-Butler et al., 2018).

3. Влияние технологии нетермической обработки на микробиологические и физико-химические показатели качества рыбной продукции

Основная цель использования нетермических способов обработки – снижение негативного воздействия на питательные и органолептические качества пищевых продуктов, а также продление срока их хранения за счет ингибирования или уничтожения микроорганизмов. В ходе многочисленных исследований получены данные, подтверждающие, что нетермические технологии более энергоэффективны и способствуют более эффективному сохранению органолептических показателей и пищевой ценности продуктов, чем традиционные методы обработки. Снижение времени обработки и отрицательного влияния на качество продукта позволяет рассматривать данные технологии в качестве альтернативы традиционным термическим методам (Burak, 2024). Методы нетермической обработки, используемые в настоящее время или разрабатываемые для консервирования водных продуктов, направлены на продление срока их хранения за счет инактивации микроорганизмов, присутствующих в пищевых продуктах. Это такие методы обработки, как технология УНР (Ultra High Pressure) или сверхвысокое давление, облучение, магнитные поля и холодная плазма. В таблице представлен краткий обзор результатов влияния различных методов нетермической обработки на микробиологическую безопасность и физико-химические показатели рыбной продукции.

Таблица. Влияние технологии нетермической стерилизации на микробную безопасность и физико-химические качества рыбной продукции

Table. The influence of non-thermal sterilization technology on microbial safety and physicochemical qualities of fish products

Наименование продукта	Метод обработки и параметры	Условия хранения	Основные результаты обработки	Источник
Устрица (<i>Crassostrea ariakensis</i>)	Сверхвысокое давление (УНР), 200, 400 и 600 МПа, 3 мин	4 °С и 20 °С, 30 дней	Снижение <i>Vibrio vulnificus</i> и <i>Vibrio parahaemolyticus</i> до неопределяемого уровня (400/600 МПа, 3 мин); разница в цвете устриц (значения ΔE*) увеличивается с увеличением давления	Liu et al. (2022)
Гребешок (<i>Mizuhopecten Yessoensis</i>)	УНР, 100/200/300/400/500 МПа, 5 мин	2 ± 2 °С, 28 дней	Сохраняет водоудерживающую способность эндоканнабиноидов гребешка стабильной во время охлаждения, повышает их твердость и снижает упругость; вызывает значительную денатурацию и окисление белка, снижая скорость деградации белка и ингибируя активность эндогенной протеазы (400 и 500 МПа)	Zeng et al. (2022)
Креветка (<i>Penaeus monodon</i>)	УНР, 100/300/500 МПа, 5 мин	Хранение на льду, 28 дней	Значительно снижает начальную TVC более чем на 4 log (КОЕ/г) (свыше 300 МПа), TVC образцов, обработанных с давлением 500 МПа, остается ниже 4 log (КОЕ/г) после 28-дневного охлаждения; с более высокими L* и более высокими значениями твердости после УНР и постепенным снижением эластичности с ростом давления	Chen et al. (2022a)

Скумбрия (<i>Scomber japonicus</i>)	УНР, 200/300/ 400 МПа, 3 мин	4 °С, 20 дней	Обработка способствовала резкому сокращению производства основных компонентов запаха рыбы, ТМА и TVB-N, а также значительному сокращению порчи ЛОС. Увеличение пост- <i>L*</i> яркости, вызванное УНР	<i>Kim et al.</i> (2021)
Окунь (<i>Micropterus salmoides</i>)	Облучение 0/1/3/5 кГр с ⁶⁰ Со-γ	4 °С, 15 дней	КМАФАнМ (1, 3 и 5 кГр) в пределах стандартных значений. Облучение (3 кГр) эффективно подавляло <i>Stenotropomonasmaltophilia</i> ; ингибирование TVB-N и увеличение pH (3 кГр) и концентрации миофибриллярного белка (MPS), способность удерживать воду и гидрофобность поверхности миофибриллярного белка	<i>Li et al.</i> (2022b)
Белый амур (<i>Stenopha-ryngodon idella</i>)	Облучение 2/4/6/8/10 кГр с ⁶⁰ Со-γ	4 °С	Облучение привело к нарушению структуры МПС и МС, уменьшению размера частиц, содержания солерастворимого белка, активности Ca ²⁺ -АТФазы, содержания Т-SH и R-SH; содержание Т-SH и R-SH, а также значения S0-ANS имели тенденцию к снижению (от 4 до 10 кГр), а значение серого цвета электрофоретической полосы становилось меньше и светлее	<i>Shi et al.</i> (2021)
Большеротый окунь (<i>M. salmoides</i>)	Облучение 0/3/6 кГр с ⁶⁰ Со-γ, или 0/3/6 кГр (электронный пучок)	4 °С, 6 дней	Приводит к повышению уровня свободных жирных кислот, первичных и вторичных продуктов окисления липидов; снижает окисление липидов и уменьшает потерю НЖК в мясе большеротого окуня (ЕВ 3 кГр с ⁶⁰ Со 200 Гр/мин)	<i>Lee et al.</i> (2020)
Креветка (<i>Litopenaeus vannamei</i>)	Облучение 0/2,5/5,0/ 7,5/10 кГр (электронный пучок)	2 °С, 23 дня	Меньшая твердость (2,5 кГр), чем в контрольном образце, разрушение текстуры (10 кГр); pH и TVB-N были ниже, чем в контрольном образце	<i>Annamalai et al.</i> (2020)
Карп ферментированный (<i>Cyprinus carpio L.</i>)	Облучение 0/7 кГр с точечным источником ⁶⁰ Со-γ	4 °С, 90 дней	В результате снижается общее содержание ЖК, ингибируется гидролиз белков, высвобождение FAA и образование ЛОС во время хранения	<i>Sun et al.</i> (2021)
Белый амур (<i>C. idella</i>)	Переменное магнитное поле; интенсивность, 2,0 мТ	-40 °С, 12 дней	Подавление микробной колонизации филе белого амура при охлаждении; снижение TVB-N, TBARS и характерных аминов, вызывающих порчу, замедленное окисление липидов, потеря сока, потери при приготовлении и изменения pH; сохранение цвета и сенсорного качества	<i>Pan et al.</i> (2023)
Креветка (<i>L. vannamei</i>)	Переменное магнитное поле; интенсивность, 5,0 мТ	0 °С, 12 дней	Ингибирует активность гистоновых протеаз В, D, Н и L, содержание карбонила и дитиозина, а также деградацию белков; повышенная твердость, жевательная способность <i>a*</i> , <i>b*</i> и снижение вододерживающей способности	<i>Zhu et al.</i> (2022)

Серебряный помфрет (<i>Pampus argenteus</i>)	Плазма. Обработка (UPFL), сочетающее US (ультразвук) с PFL (плазмо-активированная жидкость)	4 °C в течение 15 дней	Значительное снижение TVC, видов <i>Pseudomonas</i> , <i>Enterobacteriaceae</i> , бактерий, продуцирующих H ₂ S, молочнокислых бактерий	<i>Esau et al.</i> (2022)
Карп (<i>Cyprinus carpio</i>)	Активированная плазмой вода, SDW, активированная PAW120, на 1,5, 3,0, 4,5 или 6,0 мин	20 °C; 30 °C для микробного анализа	Увеличены значения <i>L*</i> и уменьшены значения <i>a*</i> , отсутствуют существенные различия значений <i>b*</i> и твердости, упругости, адгезии и когезионности; Значительное увеличение уровня окисления липидов и снижение pH	<i>Liu et al.</i> (2021)

Примечание. Обозначения: КМАФАнМ – количество аэробных колоний; LAB – молочнокислые бактерии; TBARS – реагенты тиобарбитуровой кислоты; ТМА – триметиламин; TVB-N – общее количество летучих оснований азота; TVC – общее количество жизнеспособных микроорганизмов; UHP – сверхвысокое давление; ЛОС – летучее органическое соединение.

3.1. Сверхвысокое гидростатическое давление (UHP)

Сверхвысокое гидростатическое давление, также известное как обработка UHP, сохраняет присущий цвет, вкус, питательные вещества и текстуру пищевых продуктов, обеспечивая при этом безопасность пищевых продуктов, продлевая срок годности и сохраняя качественные характеристики (*Bozaris et al., 2021; Burak, 2024*). В этом методе применяется определенный диапазон давления (100–1000 МПа) в течение заданного периода времени. Технология UHP изменяет морфологическую структуру микробных клеток, разрушая нековалентные связи и повреждая клеточные мембраны, что приводит к утечке клеточного содержимого, прекращению генетической репликации, необратимой инактивации ферментов и гибели микробов. Потеря активности фермента или функциональные изменения могут быть результатом изменений активного центра или денатурации белка. UHP значительно снижает общее количество бактерий в водных продуктах и эффективно подавляет SSO. В исследовании *de Alba et al. (2019)* показано, что при обработке <500 МПа в течение 2 или 5 мин общее количество жизнеспособных клеток (TVC) было на 1,66 и 2,48 log (КОЕ/г) ниже по сравнению с контрольной группой, где показатель 4,17 log (КОЕ/г). H₂S-продуцирующие бактерии не обнаружены (<1 log КОЕ/г) после обработки по сравнению с установленным количеством 2,53 log (КОЕ/г) в контрольной группе. Обработка UHP также подавляла психротрофные бактерии во время хранения. При воздействии давлением 300 и 400 МПа количество психротрофных бактерий в образцах тилапии снизилось на 1,11 и 1,15 log (КОЕ/г) соответственно по сравнению с контрольной группой (*Suemitsu et al., 2019*). Кроме того, UHP эффективно ингибировало гистаминообразующие бактерии (HFB), такие как *Morganella morganii* и *Photobacterium phosphoreum*. *Lee et al. (2020)* исследовали влияние UHP на эти HFB у фаршированного тунца с помощью TVC и сканирующей электронной микроскопии, установив, что UHP может вызывать морфологические изменения клеток и инактивировать HFB. UHP также ингибировало микроорганизмы, вызывающие порчу, такие как *Vibrio* spp. (*Vibrio vulnificus* и *Vibrio parahaemolyticus*), *Shewanella* spp. (особенно *S. putrefaciens*) и *Pseudomonas* spp. в различных морепродуктах, таких как устрицы (*Crassostrea ariakensis*), скумбрия (*Scomber japonicus*) и раки с красными клешнями (*Cherax Quadricarinatus*) (*Kim et al., 2021; Lin et al., 2021; Liu et al., 2022*). Эффективность UHP на микробиоту была подтверждена на тунце (*Tsai et al., 2022*), гребешке (*Mizuhopecten yessoensis*) (*Chen et al., 2023*) и белом амуре (*Yu et al., 2018*).

Качество продуктов водного происхождения (внешний вид, текстура и т. д.) может улучшаться или ухудшаться в зависимости от применяемого уровня сверхвысокого давления. Обработка оптимальными параметрами UHP способствует сохранению органолептических свойств в процессе хранения. Цвет (*L**, *a**, *b**) является важнейшим показателем свежести. Многочисленные исследования доказали, что обработка UHP может повысить яркость (*L**) морепродуктов (*Chen et al., 2022b; de Alba et al., 2019; Kim et al., 2021; Tsai et al., 2022*). *Tsai et al. (2022)* заметили, что желтизна (*b**), белизна (*W**) и цветовая разница (ΔE^*) тунца увеличиваются с увеличением величины сверхвысокого давления. *Liu et al. (2022)* сообщили об аналогичных тенденциях ΔE^* для устриц после обработки UHP. *Zeng et al. (2022)* применили UHP (500 МПа) к гребешкам и обнаружили, что обработка позволяет сохранить водоудерживающую способность, повышает твердость, снижает упругость, вызывает значительную денатурацию и окисление белка, снижает скорость деградации белка, ингибирует активность эндогенных протеаз и предотвращает ухудшение текстуры во время охлаждения. *Tsironi et al. (2019)* обработали морского окуня (*Dicentrarchus labrax*) сверхвысоким давлением 600 МПа, что привело к увеличению веса и твердости филе, при этом волокна стали слитыми и более компактными по сравнению с необработанной контрольной группой. Кроме того, обработка позволила увеличить срок

хранения филе, обработанного УНР, до 2 месяцев по сравнению с 11 днями для контрольных образцов. Обработка УНР может значительно снизить накопление общего летучего основного азота (TVB-N) и ТМА, тем самым сводя к минимуму порчу микробиоты (Chen et al., 2022b).

Воздействие УНР также может ингибировать выработку гистамина. После обработки УНР тунца (200, 300, 400, 500 и 600 МПа в течение 5 мин) при 4 °С уровень гистамина, выявленный на 15-е сутки хранения, составил в контрольном образце 2,5 мг/100 г, а в обработанных 200 МПа только 0,5 мг/100 г. Использование УНР (> 200 МПа) для мяса тунца способно эффективно ингибировать выработку гистамина (Tsai et al., 2022), вероятно, из-за подавления роста продуцирующих гистамин микроорганизмов, вызывающих порчу (Lee et al., 2020). Обработка УНР также может ингибировать деградацию АТФ и распад аминокислот. Xu et al. (2020) объединили обработку 0,2 % коричневого альдегида с УНР (200 МПа в течение 10 мин) филе оливковой камбалы, хранившемся при 4 °С. Результаты показали значительное снижение содержания нежелательных вкусовых соединений, таких как Нх, ТМА и горьких аминокислот, при этом происходило накопление желательных вкусовых соединений, таких как ИМФ и аминокислот с благоприятным вкусом. Yu et al. (2018) провели обработку УНР филе белого амура (200, 300, 400, 500 и 600 МПа в течение 15 мин). Результаты исследования показали, что обработка от 400 до 600 МПа в течение 15 мин значительно ингибировала активность тканевых протеаз В и D, а также коллагеназа.

3.2. Облучение

Облучение – это нетепловая технология, в которой для взаимодействия с веществами используются гамма-лучи, испускаемые радиоизотопами, такими как кобальт (^{60}Co) и цезий (^{137}Cs), или ионизирующее излучение, создаваемое пучками высокоэнергетических электронов (ЭП). Это взаимодействие приводит к физическим, химическим и биологическим процессам, которые обеспечивают безопасность пищевых продуктов и продлевают срок их хранения (Wei et al., 2022). ЭП и рентгеновское облучение не требуют радиоактивных изотопов для стерилизации и эффективно подавляют бактерии, не вызывая загрязнения (Asaithambi et al., 2021; Wei et al., 2022). Патогенные микроорганизмы чувствительны к облучению главным образом из-за разрывов цепей ДНК, индуцированных свободным радикалом ОН. Радиация также повреждает клеточные мембраны и другие структуры, вызывая сублетальные повреждения живых клеток, т. е. потерю физиологических функций (Gautam et al., 2021).

3.2.1. Влияние на микробиологическую безопасность и физико-химические показатели

Облучение доказало свою эффективность в инактивации микроорганизмов в водных продуктах. Mehrzadeh et al. (2021) показали, что обработка облучением белых креветок (*Metapenaeus affinis*) привела к значительному снижению TVC, чем в необработанных образцах, на 15-й день со снижением как минимум на 6 log (КОЕ/г) при дозе 7 кГр. Sun et al. (2021) сообщили об аналогичной эффективности по инактивации TVC. Виды *Pseudomonas*, H_2S -продуцирующие бактерии, *B. thermosphacta* и психрофильные бактерии являются доминирующими организмами, вызывающими порчу при хранении водных продуктов. Annamalai et al. (2020) провели облучение обезглавленных белых креветок (*Litopenaeus vannamei*) дозой 0, 2,5, 5,0, 7,5 и 10 кГр и хранили их при 2 °С в течение 23 дней. Количество психрофильных бактерий, *Pseudomonas* spp., H_2S -продуцирующих бактерий, *B. thermosphacta* и *Lactobacillus* было значительно ниже у облученных креветок, чем в контрольной группе. В необработанных образцах *Pseudomonas* spp. достигали значения 5,25 log (КОЕ/г) к 12 дню, тогда как продукция, облученная дозами 2,5 и 5,0 кГр, достигла значения 5,30 и 5,06 log (КОЕ/г) соответственно только к 15 дню.

Облучение изменяет состав микрофлоры и эффективно уменьшает большинство бактерий, вызывающих порчу, в частности *Shewanella* spp. Yu et al. (2022a) исследовали морские креветки (*Solenocera melanthero*), которые были облучены дозой 0, 2, 4, 6, 8 и 10 кГр. Установлено, что облучение в дозе 2 кГр уничтожает большинство микроорганизмов, а облучение в дозе 6 кГр эффективно уничтожает виды *Shewanella*. Кроме того, обработка 3 кГр эффективно подавляла рост *Stenotropomonasmaltophilia*, основной бактерии, вызывающей порчу морского окуня (Li et al., 2022b). Sun et al. (2021) облучали ферментированного карпа (*Cyprinus carpio* L.) при дозе 7 кГр, что привело к снижению общего количества жизнеспособных бактерий на 4,67 log (КОЕ/г) по сравнению с контрольной группой, без роста колиформ и видов *Pseudomonas* во время хранения, что указывает на потенциальную возможность облучения ингибировать рост бактерий в предварительно приготовленных посудах.

Xu et al. (2021) показали, что более низкие дозы облучения (1 и 3 кГр) могут значительно продлить срок хранения филе морского окуня, сохраняя при этом твердость и жевательную способность во время хранения. Yu et al. (2022a) установили, что уровни облучения >6 кГр могут нарушить мышечную структуру и ускорить порчу креветок. Креветки, обработанные облучением 10 кГр, показали меньшую твердость и жевательную способность, чем другие облученные группы продуктов, после 15 дней хранения в холодильнике при температуре 2 °С (Annamalai et al., 2020). Высокие уровни облучения, такие как γ -излучение 7 кГр, могут значительно увеличивать значения L^* и b^* у карпа (Sun et al., 2021). Более низкие уровни облучения оказали незначительное влияние на текстуру и внешний вид рыбной продукции.

Mehrzadeh et al. (2021) подвергли белых креветок облучению в дозах 0, 1, 3, 5 и 7 кГр и обнаружили, что по сравнению с контрольным образцом облучение снизило уровни тиобарбитуровой кислоты (ТБК) и TVB-N во время хранения, при этом снижение увеличивается с увеличением дозы радиации.

Высокоинтенсивное облучение может повлечь ухудшение качества. *Lee et al.* (2020) использовали ^{60}Co (0, 3 и 6 кГр) и ЭБ (0, 3 и 6 кГр) на большеротом окуне (*Micropterus salmoides*) и заметили, что окисление липидов увеличивается при более высоких дозах радиации, особенно при облучении ^{60}Co , которое оказывало более выраженное влияние на окисление липидов, чем облучение ЭБ. Облучение дозой 6 кГр привело к увеличению содержания свободных жирных кислот, а также продуктов первичного и вторичного окисления липидов у большеротого окуня. Присутствие воды может ускорить окисление липидов, вызванное ^{60}Co в мясе рыбы; однако в группе, облученной дозой 3 кГр, наблюдалось снижение окисления липидов и сохранение ненасыщенных жирных кислот по сравнению с группой, получавшей дозу 6 кГр.

3.3. Магнитное поле

Магнитные поля можно разделить на статические или динамические в зависимости от их интенсивности и направленности действия (*Lin et al.*, 2021). Различные типы магнитных полей и их физические параметры (сила, однородность, направленность и продолжительность) могут вызывать различные биологические изменения. Например, слабые магнитные поля имеют тенденцию активировать и способствовать росту микробов, тогда как более сильные импульсные магнитные поля (PMF) могут уничтожать микробы (*Wen et al.*, 2021). Механизмы, лежащие в основе микробной инактивации, включают ряд электромагнитных эффектов, генерируемых PMF (в основном индуцированный ток, сила Лоренца, колебательные движения и ионизация), которые приводят к клеточным изменениям, влияющим на биохимический и генетический метаболизм микроорганизмов, что в конечном итоге вызывает гибель микробов (*Lin et al.*, 2021).

Магнитные поля эффективно подавляют микроорганизмы при консервировании водных продуктов. Общее количество бактерий в филе белого амура из контрольной группы составляло примерно 6,0 log (КОЕ/г) к 5-му дню хранения и достигало 8,3 log (КОЕ/г) к 13-му дню. Напротив, филе белого амура, подвергнутое воздействию 2 мТ переменного магнитного поля, показало 6,0 log (КОЕ/г) к 10-му дню. К концу хранения (13-й день) общее количество бактерий в этих филе снизилось на 1,20 log (КОЕ/г) по сравнению с контрольной группой (*Pan et al.*, 2023). Замораживание с помощью магнитного поля способно повысить качество замороженных мясных продуктов за счет эффективного ускорения скорости замораживания и образования более мелких внутриклеточных кристаллов льда для лучшей сохранности (*Lu et al.*, 2022). Соответствующая сила магнитного поля может свести к минимуму повреждение мышечной ткани кристаллами льда и сохранить качества продукта. *Zhou et al.* (2023) исследовали влияние замораживания с помощью магнитного поля на образование и качество кристаллов льда у золотого помпано (*Trachinotus ovatus*). Результаты показали, что подходящая напряженность магнитного поля (20 мТ) предотвращает образование крупных кристаллов льда, способствует равномерному распределению кристаллов льда и уменьшает механическое повреждение мышечной ткани.

В сочетании с охлаждением магнитные поля могут помочь предотвратить окисление липидов и деградацию белков в водных продуктах. *Zhu et al.* (2022) подвергли креветок в вакуумной упаковке воздействию сверхвысокого давления при давлении 200 и 300 МПа в течение 5 мин с последующим хранением в магнитном поле напряженностью 5 мТ в течение 12 дней. Авторы установили, что окисление липидов значительно ингибировалось во время хранения, активность тканевых протеаз снижалась, окислительная деградация белков задерживалась, а ухудшение текстуры и цвета мышц было незначительным, что привело к увеличению срока хранения креветок как минимум на 2 дня.

Однако исследования по обработке охлажденных водных продуктов магнитным полем ограничены, а механизмы ингибирования остаются неясными. Протеомика, пептидомика и метаболомика могут помочь выяснить влияние магнитных полей на качество водных продуктов.

3.4. Холодная плазма (СР)

Холодная плазма – это четвертое состояние материи или "состояние плазмы"; материя состоит из свободных электронов и заряженных ионов. Плазму можно генерировать путем возбуждения нейтральных газов высоким напряжением, превращая вещество в плазму с достаточной энергией. Обработка СР – это новый нетермический процесс, используемый для консервирования пищевых продуктов. При этом производятся фотоэлектроны, ионы и активные свободные радикалы вокруг пищевой среды, которые контактируют с микробными поверхностями, вызывая окисление микробных нуклеиновых кислот, и приводят к микробной инактивации и разрушению клеток, что эффективно стерилизует пищевой продукт (*Jadhav et al.*, 2021). СР имеет такие преимущества, как работа при низких температурах, отсутствие токсичных побочных продуктов и минимальный ущерб качеству пищевых продуктов. *Zhang et al.* (2022) объяснили процесс воздействия СР травлением клеток, перфорацией клеточной мембраны, электростатическими помехами и макромолекулярным окислением. Потенциальные механизмы микробного ингибирования СР включают повреждение ДНК и перекисное окисление липидов.

Плазменная обработка является перспективным методом обработки и сохранения водных продуктов. Способность плазмы ингибировать TVC была обнаружена у серебряного помфрета (*Pampus argenteus*) (Esua et al., 2022), морского леща (*Sparus aurata*) (Giannoglou et al., 2021), креветок (*Metapenaeus ensis*) (Liao et al., 2018) и синего краба-плавуна (*Portunus Armatus*) (Olatunde et al., 2021). Обработка плазмой также может подавлять рост таких видов, как *Pseudomonas*, *Psychrophilic* spp. и *Enterobacteriaceae* spp., во время консервирования рыбной продукции. Olatunde et al. (2018) установили, что у азиатского морского окуня (*Latescalcarifer*) общее количество термофильных бактерий, криофильных бактерий, *Pseudomonas* spp., LAB и *Enterobacteriaceae* spp. обработанных напряжением 80 кВ в течение 5 мин, было достоверно ниже, чем в контрольной группе. Общее количество термофильных бактерий в обработанной группе продуктов было как минимум на 1 log (КОЕ/г) ниже, чем в контрольной группе, что продлевало срок хранения более чем на 18 дней при 4 °С. Olatunde et al. (2021) в исследовании с синим плавающим крабом обнаружили, что после 10-минутной обработки плазмой при 80 кВ количество *Psychrophilic*, *Enterobacteriaceae* и *Pseudomonas* spp. снизилось с $3,5 \pm 0,2$, $2,7 \pm 0,8$, $2,2 \pm 0,3$ и $2,5 \pm 0,5$ log (КОЕ/г) соответственно до уровня ниже уровня обнаружения. Количество микроорганизмов в группах, обработанных плазмой, было ниже, чем в контрольных группах при хранении в холодильнике на срок до 12 дней, при этом более длительное время обработки способствовало большей эффективности. Обработанное свежее филе тилапии при охлаждении показало, что *Pseudomonas*, бактерии, продуцирующие H₂S, и виды *Enterobacteriaceae* ингибировались при хранении, а после обработки при 70 кВ в течение 5 мин и хранения в течение 12 суток уровни TVB, *Pseudomonas* spp. и *Enterobacteriaceae* spp. в филе тилапии составили 7,2, 7,0 и 4,2 log (КОЕ/г) соответственно, что было значительно ниже, чем в контрольной группе (Wang et al., 2022). Обработка плазмой также может ингибировать рост видов *Shewanella*. Liu et al. (2021) проводили для обработки активированную плазмой воду в течение 6 мин и достигли максимального снижения на 1,0 log (КОЕ/г) у *S. Putrefaciens* по сравнению с контролем. Исследование Esua et al. (2021) на белом амуре показало, что плазма при 70 В значительно снижает количество микробной обсемененности *S. Putrefaciens* и *Salmonella typhimurium*. Количество *S. Putrefaciens* и *S. Typhimurium* в начале составляло 5,9 и 6,0 log (КОЕ/г) соответственно, а после обработки значительно снижалось до 1,6 и 1,4 log (КОЕ/г). Возможно, плазменная технология способна снизить выработку гистамина за счет подавления жизнеспособности микроорганизмов, продуцирующих гистамин, хотя подтверждение в научной литературе в этой области исследований пока отсутствует.

Albertos et al. (2019) использовали обработку сельди плазмой атмосферного давления (технология атмосферной плазмы) при 70 и 80 кВ в течение 5 мин (*Clupea harengus*). Это позволило сохранить качество значений *L**, *a** и *b**, но при напряжении 80 кВ наблюдалось неблагоприятное воздействие на цвет. Giannoglou et al. (2021) применили низкоинтенсивную расширенную обработку СР напряжением 3 кВ в течение 15 мин на луциане и обнаружили, что это увеличило значение *L** луциана с небольшим изменением твердости, а также значений *a** и *b**, при этом существенно был снижен рыбный привкус при хранении. Situ et al. (2023) исследовали влияние различной мощности разряда и времени обработки на качество охлажденного помфрета золотого (*T. ovatus*), используя постоянную обработку СР в течение 90 с при различной мощности разряда (0, 20, 30, 40, 50, 60, и 70 Вт) и постоянной мощностью разряда 40 Вт с различным временем воздействия (0, 30, 60, 90, 150, 210 и 270 с). Когда мощность обработки СР была постоянной и составляла 40 Вт, твердость и адгезия существенно увеличивались с увеличением времени обработки; однако когда время обработки СР превышало 60 с как твердость, так и когезионность снижались.

Esua et al. (2022) исследовали предварительно обработанный серебряный помфрет с использованием функционализированной плазмой жидкости (при 70 кВ) в сочетании с ультразвуком (US) (частота 40 кГц, мощность 500 Вт, акустическая интенсивность 15,35 Вт/л, продолжительность 5 мин) перед вакуумной упаковкой и хранением при 4 °С в течение 15 дней. Измерения проводились с интервалом в 3 дня. В соответствии с микробиологической оценкой качества обработка значительно снизила деградацию миогенного фибрина, потерю капель, структурную потерю, окисление липидов, образование летучих соединений и свободных жирных кислот, а также пролиферацию микробов, эффективно продлевая срок хранения на 6 дней. Zowelm et al. (2019) использовали СР для обработки белых креветок в течение 45, 90 и 150 с. По сравнению с контрольной группой обработка СР в течение 90 с обеспечила сохранение pH, содержание TVB-N, реактивных веществ ТВА (TBARS), свободных жирных кислот и перекисное число, тогда как флуоресцентные соединения значительно увеличивались. СР снизила относительную активность полифенолоксидазы, а также фосфолипазы и липазы, что, в свою очередь, снижало окисление липидов у креветок. Длительное воздействие СР в течение 150 с способно снизить активность фермента до 50 %. Одна и та же интенсивность обработки привела к разным эффектам при использовании разных водных продуктов. У азиатского морского окуня обработка СР 80 кВ в течение 5 мин имела явный ингибирующий эффект на увеличение TVB-N, ТМА и ТВА во время хранения (Olatunde et al., 2018). Однако исследования с синим плавательным крабом показали, что при той же обработке TBARS и перекисное число были выше, чем в контрольной группе во время хранения, что указывает на усиление окисления липопротеинов (Olatunde et al., 2021). Результаты других исследований также показали, что СР приводит к окислению липидов (Albertos et al., 2019; Giannoglou et al., 2021; Liu et al., 2021).

3.5. Другие методы нетермической обработки

Импульсное электрическое поле (PEF) – это нетермический метод, при котором кратковременные импульсы высокого напряжения применяются к продуктам питания, помещенным между двумя электродами. Воздействие PEF инактивирует микроорганизмы с минимальным ущербом для качества пищевых продуктов. Принято считать, что основным механизмом инактивации микроорганизмов с помощью PEF является электропорация клеточных мембран. *Anggo et al.* (2020) оценили влияние PEF на мясо карпа, обнаружив, что общее количество колоний (ТРС) снизилось с 4,60 до 3,76 log (КОЕ/г) после применения PEF, причем большее снижение наблюдалось при увеличении напряжения с 30 до 90 кВ. PEF значительно инактивировало микроорганизмы, вызывающие порчу креветок; наибольшее количество мезофильных и психрофильных микроорганизмов было снижено при применении PEF (15 кВ/см, 600 импульсов), что способствовало низкой микробной нагрузке до конца хранения (4,58 log (КОЕ/г)) (*Shiekh et al.*, 2020). *Luo et al.* (2019) изучали влияние обработки PEF (0,66, 1,38 и 2,00 кВ/см, 50 Гц) на физико-химические свойства новозеландского морского ушка и не установили существенных различий в цвете, текстуре, окислении липидов, свободных аминокислотах и жирных кислотах, содержании кислоты между обработанными PEF и необработанными образцами.

Ультразвук (US) – это метод нетермической обработки, в котором используются звуковые волны с частотой около 20 кГц. Ультразвук высокой интенсивности (20–500 кГц) широко применяется в пищевой промышленности благодаря его механическим, термическим и химическим эффектам, возникающим во время акустической кавитации. Эти эффекты могут вызвать разрыв ДНК и инактивацию ферментов в микробных клетках и привести к разрыву клеточной стенки, что приводит к гибели клеток (*Nunes et al.*, 2022). Рыба, обработанная US, демонстрировала значительно более низкие уровни окисления липидов и деградации белка. Обработка ультразвуком также ингибировала рост *Pseudomonas* spp. и активность эндогенных ферментов (*Li et al.*, 2022a). Действием US эффективно инактивировали *V. parahaemolyticus* в сырых устрицах; после US-обработки 7,5 Вт/мл в течение 12,5 мин уровни *V. parahaemolyticus* снизились на 3,13 log (КОЕ/г). Обработка также значительно подавляла увеличение общего количества аэробных бактерий и общего летучего основного азота, ингибировала процессы окисления липидов и замедляла изменение цвета устриц во время хранения (*Ma et al.*, 2023).

3.6. Преимущества и недостатки нетермических методов обработки

Все методы нетермической обработки, проанализированные в данном обзоре, продемонстрировали эффективность в контроле роста микроорганизмов, вызывающих порчу (МОП) в продуктах водного происхождения при сохранении их питательных и сенсорных характеристик. Однако эти технологии также имеют некоторые ограничения. UHP эффективно подавляет МОП во время хранения водных продуктов, но может вызывать окисление липидов и значительные изменения цвета и текстуры из-за высокого давления. Барьерная технология (технология Hurdle) в сочетании с активными пленками и съедобными покрытиями может повысить безопасность и качество продуктов из водного сырья. Сочетание сверхвысокого давления UHP (250 МПа, 15 мин) и пищевой пленки (желатин-хитозан-эфирное масло гвоздики) существенно усиливает антибактериальный эффект карпаччо из лосося. Общее количество бактерий, люминесцентных бактерий, организмов, продуцирующих H₂S, псевдомонад и энтеробактерий, оставалось постоянным или ниже предела обнаружения в течение 11-дневного периода хранения (*Gómez-Estaca et al.*, 2018). Сочетание упаковки в модифицированной среде (MAP) с атмосферой, обогащенной CO₂, и UHP (150 МПа, 5 мин) ингибировало окисление филе лосося (*Zhang et al.*, 2021). Облучение дает такие преимущества, как низкая стоимость, отсутствие загрязнения окружающей среды и эффективные антибактериальные свойства. Однако его воздействие может вызывать побочные эффекты, включая окисление белков, снижение вододерживающей способности и ухудшение чувствительности. Совместное использование облучения с антиоксидантами может эффективно задерживать окисление липидов и белков, улучшая физические, химические и сенсорные качества водных продуктов (*Wei et al.*, 2022).

CP – это технология с низкотемпературными свойствами и отсутствием химических веществ. После обработки CP образуются активные формы кислорода/азота, включая синглетный кислород, супероксид-анион и перекись водорода. Эти свободные радикалы убивают микроорганизмы, вызывающие порчу, но также могут стимулировать окисление липидов в водных продуктах. Хитоолигосахариды, содержащие группы NH₂ и OH, могут служить донорами водорода, блокируя процесс окисления липидов. Высоковольтная атмосферная холодная плазма CP (HV-ACP) в сочетании с хитоолигосахаридами (0,1 г/100 г) была эффективно использована для продления срока годности ломтиков азиатского морского окуня при хранении в холодильнике за счет уменьшения размножения микроорганизмов и окисления липидов. Хитоолигосахариды (0,1 г/100 г) напрямую снижали окисление липидов и белков, вызванное HV-ACP (*Singh et al.*, 2020). PMF имеют ряд преимуществ, в том числе глубокое проникновение в пищевые материалы, бесконтактную обработку, простоту в использовании после обеззараживания, низкое энергопотребление и мгновенную стерилизацию. Однако исследования по обработке охлажденных водных продуктов магнитным полем ограничены, а механизм ингибирования остается неясным. Проблемы включают зачастую слишком высокое приложенное напряжение разряда и ограниченную эффективность в отношении спор (*Lina et al.*, 2021).

PEF имеют такие преимущества, как более низкие температуры обработки, более короткое время обработки и увеличенный срок хранения без химических остатков или загрязнения окружающей среды. Однако было обнаружено, что обработка PEF увеличивает окисление липидов и белков из-за эффекта электропорации, что потенциально приводит к ухудшению текстуры и цвета. Сочетание натуральных экстрактов с нетермической обработкой может стать инновационным подходом к сохранению качества водных продуктов. PEF/PMF может выступать в качестве предварительной обработки, создавая небольшие отверстия, через которые натуральные экстракты могут более эффективно проникать в обработанные образцы. Окисление, вызванное PEF, может привести к появлению неприятных запахов из-за образования альдегидов, кетонов и спиртов; однако добавление натуральных растительных экстрактов может смягчить ухудшение профиля жирных кислот. PEF в сочетании с экстрактом листьев чамуанга (1 %) эффективно замедляет окисление липидов у тихоокеанских белых креветок, а также приводит к меньшему увеличению количества *Pseudomonas* spp., *Enterobacteriaceae* spp. и H₂S-продуцирующих бактерий по сравнению с контрольной группой и другими обработанными образцами (Shiekh et al., 2021). US можно охарактеризовать как нетоксичный метод с низкой стоимостью и высокой проницаемостью. Хотя ультразвук низкой интенсивностью сам по себе малоэффективен, а увеличение интенсивности может привести к перерасходу энергии и потенциальному ущербу качеству рыбной продукции, то для устранения данных проблем целесообразно сочетание US с другими технологиями, такими как электролиз воды, съедобное покрытие и импульсный свет.

3.7. Перспективы использования нетермических технологий

Методы нетермической обработки, такие как сверхвысокое давление, облучение, PMF и низкотемпературная плазма, показали значительные результаты в подавлении роста микробов и увеличении срока хранения рыбы и других гидробионтов. Вместе с тем, как уже отмечалось, эти методы могут отрицательно повлиять на качество рыбной продукции, включая окисление липидов, деградацию белков, изменения физико-химических свойств и сенсорных характеристик, когда используются неоптимизированные параметры обработки. С целью снижения негативного воздействия можно предложить следующие пути решения:

- нетермическая обработка может использоваться в сочетании с антиоксидантными/биологическими композитными покрытиями (мембранами) для задержки окисления липидов и белков и улучшения физических, химических и органолептических свойств продуктов водного происхождения;
- возможно комбинировать несколько методов нетермической обработки, например, UHP с низкотемпературной плазмой и US с технологиями UHP, что позволит компенсировать недостатки одной из технологий.

Влияние нетермической обработки различной интенсивности на окисление липидов, деградацию и окисление белков, а также физические и органолептические свойства является значительным. Механизмы, связанные с интенсивностью нетермической обработки и изменением качества рыбы и рыбной продукции, конкретно не определены. Поэтому необходимо стандартизировать интенсивность нетермической обработки в соответствии с реальными полевыми условиями и конкретными водными видами и продуктами.

На процесс порчи продуктов водного происхождения значительное влияние оказывает состав их микробиоты. Потенциал порчи и метаболические характеристики различных микроорганизмов сильно различаются. Необходимо проведение дополнительных исследований для определения МОП различных видов и продуктов. Протеомика, пептидомика и метаболомика могут дать более четкое представление о микробных ферментах, биохимических реакциях и метаболических путях, связанных с порчей водных продуктов, путем идентификации характерных продуктов порчи, таких как ЛОС, специфические аминокислоты, амины и белки процесса порчи, а также выявить механизмы ухудшения качества, вызванные микроорганизмами, вызывающими порчу. Кроме того, геномные методы, включая метагеномику и метатранскриптомику, дают комплексное представление о функциональных характеристиках всего микробного сообщества в водных продуктах и позволяют анализировать потенциальные взаимодействия между различными микроорганизмами.

В целом, нетермическую обработку можно интегрировать с различными технологиями, чтобы максимально улучшить сохранность рыбной продукции. Рабочие параметры нетермической обработки следует тщательно контролировать, чтобы максимально снизить любые неблагоприятные последствия.

Заключение

Порча рыбы и других гидробионтов во время хранения неизбежна, и хотя многочисленные исследования раскрывают механизмы порчи (например, деградация белков микроорганизмами, окисление липидов, наличие жирных кислот и образование ЛОС, которые приводят к порче и неприятным запахам), некоторые аспекты этих процессов остаются неопределенными. Нетермические методы обработки – это новые современные технологии, которые могут способствовать сохранению рыбы и рыбной продукции за счет снижения микробиологической обсемененности, сохраняя при этом физико-химические показатели. Однако неопределенные параметры и характеристики самой технологии могут привести к таким неблагоприятным последствиям, как окисление липидов и деградация белков во время стерилизации. С целью снижения

негативного воздействия методы нетермической стерилизации целесообразно комбинировать с антиоксидантными/биокомпозитными покрытиями/MAP, а также с гистологическими методами. Дальнейшие научные исследования должны быть направлены на использование барьерных технологий, что будет способствовать сохранению качества рыбной продукции и широкому промышленному внедрению нетермических технологий консервирования.

Конфликт интересов

Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

References

- Albertos, I., Martin-Diana, A. B., Cullen, P. J., Tiwari, B. K. et al. 2019. Shelf-life extension of herring (*Clupea harengus*) using in-package atmospheric plasma technology. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 53, pp. 85–91. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2017.09.010>.
- Alotaibi, S., Tahergerabi, R. 2018. Development of a sweet potato starch-based coating and its effect on quality attributes of shrimp during refrigerated storage. *LWT*, 88, pp. 203–209. DOI: <https://doi.org/10.3390/microorganisms10040773>.
- Andoni, E., Ozuni, E., Bijo, B., Shehu, F. et al. 2021. Efficacy of non-thermal processing methods to prevent fish spoilage. *Journal of Aquatic Food Product Technology*, 30(2), pp. 228–245. DOI: <https://doi.org/10.1080/10498850.2020.1866131>.
- Anggo, A. D., Suharto, S. 2020. The effect of high voltage electric shock on the quality attribute of carp fish (*Cyprinus carpio*) meat. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 530. Article number: 012019. DOI: <https://doi.org/10.1088/1755-1315/530/1/012019>.
- Annamalai, J., Sivam, V., Unnikrishnan, P., Sivasankara, S. K. et al. 2020. Effect of electron beam irradiation on the biochemical, microbiological and sensory quality of *Litopenaeus vannamei* during chilled storage. *Journal of Food Science and Technology*, 57, pp. 2150–2158. DOI: <https://doi.org/10.1007/s13197-020-04250-7>.
- Asaithambi, N., Singh, S. K., Singha, P. 2021. Current status of non-thermal processing of probiotic foods: A review. *Journal of Food Engineering*, 303. Article number: 110567. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2021.110567>.
- Bjornsdottir-Butler, K., Abraham, A., Harper, A., Dunlap, P. V. et al. 2018. Biogenic amine production by and phylogenetic analysis of 23 *Photobacterium* Species. *Journal of Food Protection*, 81(8), pp. 1264–1274. DOI: <https://doi.org/10.4315/0362-028X.JFP-18-022>.
- Bozariis, I. S., Parlapani, F. F., Mireles, DeWitt C. A. 2021. High pressure processing at ultra-low temperatures: Inactivation of foodborne bacterial pathogens and quality changes in frozen fish fillets. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 74. Article number: 102811. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2021.102811>.
- Burak, L. Ch. 2024. Modern food processing methods: A critical review. *The Scientific Heritage*, 130(130), pp. 45–59. EDN: MQYNGM. = Бурак Л. Ч. Современные методы обработки пищевых продуктов. Критический обзор // The Scientific Heritage. 2024. № 130(130). С. 45–59. EDN: MQYNGM. (In Russ.)
- Burak, L. Ch., Sapach, A. N. 2024. Improving the technological properties of food grains by using modern technologies: A review of the subject field. *Health, Food & Biotechnology*, 6(1), pp. 40–64. EDN: YPIKVZ. = Бурак Л. Ч., Сапач А. Н. Улучшение технологических свойств продовольственного зерна за счет использования современных технологий: Обзор предметного поля // Health, Food & Biotechnology. 2024. Т. 6, № 1. С. 40–64. EDN: YPIKVZ. (In Russ.)
- Cen, S., Fang, Q., Tong, L., Yang, W. et al. 2021. Effects of chitosan-sodium alginate-nisin preservatives on the quality and spoilage microbiota of *Penaeus vannamei* shrimp during cold storage. *International Journal of Food Microbiology*, 349. Article number: 109227. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2021.109227>.
- Chakraborty, P., Nath, D., Hoque, M., Sarkar, P. et al. 2022. Biopolymer-based antimicrobial coatings for aquatic food products: A review. *Journal of Food Processing and Preservation*, 46. Article number: 16465. DOI: <https://doi.org/10.1111/jfpp.16465>.
- Chen, H., Wang, M., Yang, C., Wan, X. et al. 2019. Bacterial spoilage profiles in the gills of Pacific oysters (*Crassostrea gigas*) and Eastern oysters (*C. virginica*) during refrigerated storage. *Food Microbiology*, 82, pp. 209–217. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.fm.2019.02.008>.
- Chen, L., Jiao, D., Liu, H., Zhu, C. et al. 2022a. Effects of water distribution and protein degradation on the texture of high pressure-treated shrimp (*Penaeus monodon*) during chilled storage. *Food Control*, 132. Article number: 108555. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2021.108555>.
- Chen, L., Jiao, D., Yu, X., Zhu, C. et al. 2022b. Effect of high pressure processing on the physicochemical and sensorial properties of scallop (*Mizuhopecten yessoensis*) during iced storage. *International Journal of Food Science & Technology*, 57(2), pp. 1226–1236. DOI: <https://doi.org/10.1111/ijfs.15505>. Special Issue: Emerging Clean-Label Trends in Non-Thermal Technologies and Their Compositional Effects on Food Quality.

- Chen, Y., Miao, W., Li, X., Xu, Y. et al. 2023. The structure, properties, synthesis method and antimicrobial mechanism of ϵ -polylysine with the preservative effects for aquatic products. *Trends in Food Science & Technology*, 139. Article number: 104131. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2023.104131>.
- Christopher, C., Ling, C., Stefan, G., Miguel, Á. C. et al. 2020. The future of food from the sea. *Nature*, 588, pp. 95–100. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41586-020-2616-y>.
- Çiçek, S., Özoğul, F. 2023. Nanotechnology-based preservation approaches for aquatic food products: A review with the current knowledge. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 63(19), pp. 3255–3278. DOI: <https://doi.org/10.1080/10408398.2022.2096563>.
- Costello, C., Cao, L., Gelcich, S., Cisneros-Mata, M. Á. et al. 2020. The future of food from the sea. *Nature*, 588, pp. 95–100. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41586-020-2616-y>.
- de Alba, M., Pérez-Andrés, J. M., Harrison, S. M., Brunton, N. P. et al. 2019. High pressure processing on microbial inactivation, quality parameters and nutritional quality indices of mackerel fillets. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 55, pp. 80–87. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2019.05.010>.
- de Angelis De Souza, Silva, da Silva Campelo, M. C., Soares Rebouças, L. de O., Vitoriano, J. de O. et al. 2019. Use of cold atmospheric plasma to preserve the quality of white shrimp (*Litopenaeus vannamei*). *Journal of Food Protection*, 82(7), pp. 1217–1223. DOI: <https://doi.org/10.4315/0362-028x.jfp-18-369>.
- David, C., Frank, A., Jillian, F., Ly, N. et al. 2023. Aquatic food loss and waste rate in the United States is half of earlier estimates. *Nature Food*, 4, pp. 1058–1069. DOI: <https://doi.org/10.1038/s43016-023-00881-z>.
- Dong, H., Gai, Y., Fu, S., Zhang, D. 2022. Application of biotechnology in specific spoilage organisms of aquatic products. *Frontiers in Bioengineering and Biotechnology*, 10. DOI: <https://doi.org/10.3389/fbioe.2022.895283>.
- Esua, O. J., Cheng, J.-H., Sun, D.-W. 2021. Optimisation of treatment conditions for reducing *Shewanella putrefaciens* and *Salmonella* Typhimurium on grass carp treated by thermoultrasound-assisted plasma functionalized buffer. *Ultrasonics Sonochemistry*, 76. Article number: 105609. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2021.105609>.
- Esua, O. J., Sun, D.-W., Cheng, J.-H., Li, J.-L. 2022. Evaluation of storage quality of vacuum-packaged silver Pomfret (*Pampus argenteus*) treated with combined ultrasound and plasma functionalized liquids hurdle technology. *Food Chemistry*, 391. Article number: 133237. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2022.133237>.
- Fang, J., Feng, L., Lu, H., Zhu, J. 2022. Metabolomics reveals spoilage characteristics and interaction of *Pseudomonas lundensis* and *Brochothrix thermosphacta* in refrigerated beef. *Food Research International*, 156. Article number: 111139. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2022.111139>.
- Gadoin, E., Desnues, C., Bouvier, T., D'orbcastel, E. R. et al. 2022. Tracking spoilage bacteria in the tuna microbiome. *FEMS Microbiology Ecology*, 98(10). Article number: 110. DOI: <https://doi.org/10.1093/femsec/fiac110>.
- Gautam, R. K., Venugopal, V. 2021. Electron beam irradiation to control DOI biohazards in seafood. *Food Control*, 130. Article number: 108320. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2021.108320>.
- Giannoglou, M., Dimitrakellis, P., Efthimiadou, A., Gogolides, E. et al. 2021. Comparative study on the effect of cold atmospheric plasma, ozonation, pulsed electromagnetic fields and high-pressure technologies on sea bream fillet quality indices and shelf life. *Food Engineering Reviews*, 13, pp. 175–184. DOI: <https://doi.org/10.1007/s12393-020-09248-7>.
- Gómez-Estaca, J., López-Caballero, M. E., Martínez-Bartolomé, M. Á., López de Lacey, A. M. et al. 2018. The effect of the combined use of high pressure treatment and antimicrobial edible film on the quality of salmon carpaccio. *International Journal of Food Microbiology*, 283, pp. 28–36. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2018.06.015>.
- Guo, H., Feng, T., Qi, W., Kong, Q. et al. 2021. Effects of electron-beam irradiation on volatile flavor compounds of salmon fillets by the molecular sensory science technique. *Journal of Food Science*, 86(1), pp. 184–193. DOI: <https://doi.org/10.1111/1750-3841.15541>.
- Guo, L., Roknul, Azam S. M., Guo, Y., Liu, D. et al. 2022. Germicidal efficacy of the pulsed magnetic field against pathogens and spoilage microorganisms in food processing: An overview. *Food Control*, 136. Article number: 108496. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2021.108496>.
- Hauschild, P., Vogel, R. F., Hilgarth, M. 2022. Transcriptomic analysis of the response of *Photobacterium phosphoreum* and *Photobacterium carnosum* to co-contaminants on chicken meat. *Archives of Microbiology*, 204. Article number: 467. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00203-022-03059-6>.
- Huang, J., Zhou, Y., Chen, M., Huang, J. et al. 2021. Evaluation of negative behaviors for single specific spoilage microorganism on little yellow croaker under modified atmosphere packaging: Biochemical properties characterization and spoilage-related volatiles identification. *LWT*, 140. Article number: 110741. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2020.110741>.
- Huang, Q., Jiao, X., Yan, B., Zhang, N. et al. 2022. Changes in physicochemical properties of silver carp (*Hypophthalmichthys molitrix*) surimi during chilled storage: The roles of spoilage bacteria. *Food Chemistry*, 387. Article number: 132847. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2022.132847>.

- Huina, D., Yuanming, G., Shaoping, F., Dawei, Z. 2022. Application of biotechnology in specific spoilage organisms of aquatic products. *Frontiers in Bioengineering and Biotechnology*, 10. Article number: 895283. DOI: <https://doi.org/10.3389/fbioe.2022.895283>.
- Illikoud, N., Klopp, C., Roulet, A., Bouchez, O. et al. 2018. One complete and three draft genome sequences of four *Brochothrix thermosphacta* strains, CD 337, TAP 175, BSAS1 3 and EBP 3070. *Standards in Genomic Sciences*, 13. Article number: 22. DOI: <https://doi.org/10.1186/s40793-018-0333-z>.
- Jadhav, H. B., Annapure, U. 2021. Consequences of non-thermal cold plasma treatment on meat and dairy lipids – A review. *Future Foods*, 4. Article number: 100095. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.fufo.2021.100095>.
- Jia, S., Liu, Y., Zhuang, S., Sun, X. et al. 2019. Effect of ϵ -polylysine and ice storage on microbiota composition and quality of Pacific white shrimp (*Litopenaeus vannamei*) stored at 0 °C. *Food Microbiology*, 83, pp. 27–35. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.fm.2019.04.007>.
- Kim, H.-H., Ryu, S.-H., Jeong, S.-M., Kang, W.-S. et al. 2021. Effect of high hydrostatic pressure treatment on urease activity and inhibition of fishy smell in mackerel (*Scomber japonicus*) during storage. *Journal of Microbiology and Biotechnology*, 31(12), pp. 1684–1691. DOI: <https://doi.org/10.4014/jmb.2106.06052>.
- Lee, Y.-C., Hsieh, C.-Y., Chen, M.-L., Wang, C.-Y. et al. 2020. High-pressure inactivation of histamine-forming bacteria *Morganella morganii* and *Photobacterium phosphoreum*. *Journal of Food Protection*, 83(4), pp. 621–627. DOI: <https://doi.org/10.4315/0362-028x.jfp-19-267>.
- Li, F., Zhong, Q., Kong, B., Pan, N. et al. 2022b. Synergistic effect and disinfection mechanism of combined treatment with ultrasound and slightly acidic electrolyzed water and associated preservation of mirror carp (*Cyprinus carpio* L.) during refrigeration storage. *Food Chemistry*, 386. Article number: 132858. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2022.132858>.
- Li, H., Zhao, Q., Liu, W., Liao, T. et al. 2022a. Changes in the microbiota of a vacuum-packed cooked bass product and the effects of cobalt irradiation on its quality during storage. *LWT*, 172. Article number: 114199. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2022.114199>.
- Li, H.-L., Yu, Y.-H., Xiong, G.-Q., Liao, T. et al. 2020. Cobalt-60 and electron beam irradiation-induced lipid oxidation in largemouth bass (*Micropterus salmoides*). *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 100(12), pp. 4612–4617. DOI: <https://doi.org/10.1002/jsfa.10521>.
- Li, W., Ma, H., He, R., Ren, X. et al. 2021. Prospects and application of ultrasound and magnetic fields in the fermentation of rare edible fungi. *Ultrasonics Sonochemistry*, 76. Article number: 105613. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2021.105613>.
- Liang, Q., Yunchun, Z., Hui, M., Xiaofei, T. et al. 2022. The quality and bacterial community changes in freshwater crawfish stored at 4 °C in vacuum packaging. *Molecules (Basel, Switzerland)*, 27. Article number: 8618. DOI: <https://doi.org/10.3390/molecules27238618>.
- Liao, X., Su, Y., Liu, D., Chen, S. et al. 2018. Application of atmospheric cold plasma-activated water (PAW) ice for preservation of shrimps (*Metapenaeus ensis*). *Food Control*, 94, pp. 307–314. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2018.07.026>.
- Lin, C.-S., Tsai, Y.-H., Chen, P.-W., Chen, Y.-C. et al. 2022a. Impacts of high-hydrostatic pressure on the organoleptic, microbial, and chemical qualities and bacterial community of freshwater clam during storage studied using high-throughput sequencing. *LWT*, 171. Article number: 114124. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2022.114124>.
- Lin, D., Sun, L.-C., Chen, Y.-L., Liu, G.-M. et al. 2022b. Shrimp spoilage mechanisms and functional films/coatings used to maintain and monitor its quality during storage. *Trends in Food Science & Technology*, 129, pp. 25–37. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2022.08.020>.
- Lin, W.-C., He, Y.-M., Shi, C., Mu, C.-K. et al. 2022c. ATP catabolism and bacterial succession in postmortem tissues of mud crab (*Scylla paramamosain*) and their roles in freshness. *Food Research International*, 155. Article number: 110992. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2022.110992>.
- Lin, X., Liu, C., Cai, L., Yang, J. et al. 2021. Effect of high hydrostatic pressure processing on biochemical characteristics, bacterial counts, and color of the red claw crayfish *Cherax quadricarinatus*. *Journal of Shellfish Research*, 40(1), pp. 177–184. DOI: <https://doi.org/10.2983/035.040.0117>.
- Lina, G., Rohnul, A. S. M., Yiting, G., Dandan, L. et al. 2021. Germicidal efficacy of the pulsed magnetic field against pathogens and spoilage microorganisms in food processing: An overview. *Food Control*, 136. Article number: 108496. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2021.108496>.
- Linhares, M. de F. D., Alves Filho, E. G., Silva, L. M. A., Fonteles, T. V. et al. 2020. Thermal and non-thermal processing effect on açai juice composition. *Food Research International*, 136. Article number: 109506. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2020.109506>.
- Liu, C., Gu, Z., Lin, X., Wang, Y. et al. 2022. Effects of high hydrostatic pressure (HHP) and storage temperature on bacterial counts, color change, fatty acids and non-volatile taste active compounds of oysters (*Crassostrea ariakensis*). *Food Chemistry*, 372. Article number: 131247. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2021.131247>.

- Liu, X., Zhang, M., Meng, X., Bai, Y. et al. 2021. Effect of plasma-activated water on *Shewanella putrefaciens* population growth and quality of Yellow River Carp (*Cyprinus carpio*) fillets. *Journal of Food Protection*, 84(10), pp. 1722–1728. DOI: <https://doi.org/10.4315/jfp-21-031>.
- Lou, X., Zhai, D., Yang, H. 2021. Changes of metabolite profiles of fish models inoculated with *Shewanella baltica* during spoilage. *Food Control*, 123. Article number: 107697. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2020.107697>.
- Love, D. C., Asche, F., Fry, J., Nguyen, L. et al. 2023. Aquatic food loss and waste rate in the United States is half of earlier estimates. *Nature Food*, 4, pp. 1058–1069. DOI: <https://doi.org/10.1038/s43016-023-00881-z>.
- Lu, N., Ma, J., Sun, D.-W. 2022. Enhancing physical and chemical quality attributes of frozen meat and meat products: Mechanisms, techniques and applications. *Trends in Food Science & Technology*, 124, pp. 63–85. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2022.04.004>.
- Luo, Q., Hamid, N., Oey, I., Leong, S. Y. et al. 2019. Physicochemical changes in New Zealand abalone (*Haliotis iris*) with pulsed electric field (PEF) processing and heat treatments. *LWT*, 115. Article number: 108438. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2019.108438>.
- Ma, J., Meng, L., Wang, S., Li, J. et al. 2023. Inactivation of *Vibrio parahaemolyticus* and retardation of quality loss in oyster (*Crassostrea gigas*) by ultrasound processing during storage. *Food Research International*, 168. Article number: 112722. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2023.112722>.
- Mehrzadeh, S., Roomiani, L. 2021. Effect of gamma irradiation and modified atmosphere packaging on the shelf-life of white shrimp (*Metapenaeus affinis*). *Iranian Journal of Fisheries Sciences*, 20(4), pp. 1004–1021. DOI: 10.22092/ijfs.2021.350431.0.
- Neokleous, I., Tarapata, J., Papademas, P. 2022. Non-thermal processing technologies for dairy products: Their effect on safety and quality characteristics. *Frontiers in Sustainable Food Systems*, 6. Article number: 856199. DOI: <https://doi.org/10.3389/fsufs.2022.856199>.
- Nunes, B. V., da Silva, C. N., Bastos, S. C., de Souza, V. R. 2022. Microbiological inactivation by ultrasound in liquid products. *Food and Bioprocess Technology*, 15, pp. 2185–2209. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11947-022-02818-z>.
- Odeyemi, O. A., Burke, C. M., Bolch, C. C. J., Stanley, R. 2018. Seafood spoilage microbiota and associated volatile organic compounds at different storage temperatures and packaging conditions. *International Journal of Food Microbiology*, 280, pp. 87–99. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2017.12.029>.
- Olatunde, O. O., Benjakul, S. 2018. Non-thermal processes for shelf-life extension of seafoods: A revisit. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 17(4), pp. 892–904. DOI: <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12354>.
- Olatunde, O. O., Chantakun, K., Benjakul, S. 2021. Microbial, chemical qualities and shelf-life of blue swimming crab (*Portunus armatus*) lump meat as influenced by in-package high voltage cold plasma treatment. *Food Bioscience*, 43. Article number: 101274. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.fbio.2021.101274>.
- Pan, Y.-j., Xie, Z.-j., Jin, Y.-m., Yang, N. et al. 2023. Effect of alternating magnetic field on quality of grass carp fillets during cold storage. *Food and Fermentation Industries*, 49(5), pp. 207–214.
- Parlapani, F. F., Anagnostopoulos, D. A., Karamani, E., Mallouchos, A. et al. 2023. Growth and volatile organic compound production of *Pseudomonas* fish spoiler strains on fish juice agar model substrate at different temperatures. *Microorganisms*, 11(1). Article number: 189. DOI: <https://doi.org/10.3390/microorganisms11010189>.
- Peng, S., Wei, H., Zhan, S., Yang, W. et al. 2022. Spoilage mechanism and preservation technologies on the quality of shrimp: An overview. *Trends in Food Science & Technology*, 129, pp. 233–243. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2022.09.024>.
- Qiu, L., Zhao, Y., Ma, H., Tian, X. et al. 2022. The quality and bacterial community changes in freshwater crawfish stored at 4 °C in vacuum packaging. *Molecules*, 27(23). Article number: 8618. DOI: <https://doi.org/10.3390/molecules27238618>.
- Rathod, N. B., Nirmal, N. P., Pagarkar, A., Özogul, F. et al. 2022. Antimicrobial impacts of microbial metabolites on the preservation of fish and fishery products: A review with current knowledge. *Microorganisms*, 10(4). Article number: 773. DOI: <https://doi.org/10.3390/microorganisms10040773>.
- Samirah, A., Reza, T. 2018. Development of a sweet potato starch-based coating and its effect on quality attributes of shrimp during refrigerated storage. *Lebensmittel-Wissenschaft & Technologie – Food Science and Technology*, 88, pp. 203–209. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2017.10.022>.
- Semra, Ç., Fatih, Ö. 2023. Nanotechnology-based preservation approaches for aquatic food products: A review with the current knowledge. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 63, pp. 3255–3278. DOI: <https://doi.org/10.1080/10408398.2022.2096563>.
- Shi, G., Zhou, M., Wang, L., Xiao, Z. et al. 2021. The effect of gamma and electron beam irradiation on the structural and physicochemical properties of myofibrillar protein and myosin from grass carp. *Journal of Food Biochemistry*, 45(8). Article number: e13828. DOI: <https://doi.org/10.1111/jfbc.13828>.

- Shiekh, K. A., Benjakul, S. 2020. Effect of pulsed electric field treatments on melanosis and quality changes of Pacific white shrimp during refrigerated storage. *Journal of Food Processing and Preservation*, 44(1). Article number: e14292. DOI: <https://doi.org/10.1111/jfpp.14292>.
- Shiekh, K. A., Benjakul, S., Gulzar, S. 2021. Impact of pulsed electric field and vacuum impregnation with Chamuang leaf extract on quality changes in Pacific white shrimp packaged under modified atmosphere. *LWT*, 149. Article number: 111899. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2021.111899>.
- Singh, A., Benjakul, S. 2020. The combined effect of squid pen chitoooligosaccharides and high voltage cold atmospheric plasma on the shelf-life extension of Asian sea bass slices stored at 4 °C. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 64. Article number: 102339. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2020.102339>.
- Situ, H., Li, Y., Gao, J., Zhang, C. et al. 2023. Effects of cold atmospheric plasma on endogenous enzyme activity and muscle protein oxidation in *Trachinotus ovatus*. *Food Chemistry*, 407. Article number: 135119. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2022.135119>.
- Suemitsu, L., Cristianini, M. 2019. Effects of high pressure processing (HPP) on quality attributes of tilapia (*Oreochromis niloticus*) fillets during refrigerated storage. *LWT*, 101, pp. 92–99. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2018.11.028>.
- Sun, Y., Xu, Y., Gao, P., Xia, W. 2021. Improvement of the quality stability of vacuum-packaged fermented fish (*Suanyu*) stored at room temperature by irradiation and thermal treatments. *International Journal of Food Science & Technology*, 56(1), pp. 224–232. DOI: <https://doi.org/10.1111/ijfs.14622>.
- Tocher, D., Betancor, M., Sprague, M., Olsen, R. et al. 2019. Omega-3 long-chain polyunsaturated fatty acids, EPA and DHA: Bridging the gap between supply and demand. *Nutrients*, 11(1). Article number: 89. DOI: <https://doi.org/10.3390/nu11010089>.
- Tsai, Y.-H., Kung, H.-F., Lin, C.-S., Hsieh, C.-Y. et al. 2022. Impacts of high-pressure processing on quality and shelf-life of yellowfin tuna (*Thunnus albacares*) stored at 4 °C and 15 °C. *International Journal of Food Properties*, 25(1), pp. 237–251. DOI: <https://doi.org/10.1080/10942912.2022.2029483>.
- Tsironi, T., Anjos, L., Pinto, P. I. S., Dimopoulos, G. et al. 2019. High pressure processing of European sea bass (*Dicentrarchus labrax*) fillets and tools for flesh quality and shelf life monitoring. *Journal of Food Engineering*, 262, pp. 83–91. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2019.05.010>.
- Wang, J., Fu, T., Wang, Y., Zhang, J. 2022. Effects of high-voltage atmospheric cold plasma treatment on microbiological and quality characters of tilapia fillets. *Foods*, 11(16). Article number: 2398. DOI: <https://doi.org/10.3390/foods11162398>.
- Wei, Q., Mei, J., Xie, J. 2022. Application of electron beam irradiation as a non-thermal technology in seafood preservation. *LWT*, 169. Article number: 113994. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2022.113994>.
- Wen, L., Haile, M., Ronghai, H., Xiaofeng, R. et al. 2021. Prospects and application of ultrasound and magnetic fields in the fermentation of rare edible fungi. *Ultrasonics Sonochemistry*, 76. Article number: 105613. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2021.105613>.
- Xu, D., Zhang, H., Zhang, L., Huang, T. et al. 2021. Effects of electron beam irradiation on quality of weever fillets during refrigerated storage. *Food Frontiers*, 2(4), pp. 519–526. DOI: <https://doi.org/10.1002/fft2.80>.
- Xu, Y., Yin, Y., Zhao, H., Li, Q. et al. 2020. Effects of cinnamaldehyde combined with ultrahigh pressure treatment on the flavor of refrigerated *Paralichthys olivaceus* fillets. *RSC Advances*, 10(21), pp. 12573–12581. DOI: <https://doi.org/10.1039/d0ra01020k>.
- Yan, C., Wenhua, M., Xiangxin, L., Yan, X. et al. 2023. The structure, properties, synthesis method and antimicrobial mechanism of ϵ -polylysine with the preservative effects for aquatic products. *Trends in Food Science & Technology*, 139. Article number: 104131. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2023.104131>.
- Yu, P., Yan, C., Yang, F., Xu, Y. et al. 2018. Effect of high pressure processing on the quality and endogenous enzyme activities of grass carp (*Ctenopharyngodon idellus*) fillets stored at 4 °C. *Journal of Aquatic Food Product Technology*, 27(10), pp. 1093–1105. DOI: <https://doi.org/10.1080/10498850.2018.1534916>.
- Yu, Q., Pan, H., Qian, C., Shao, H. et al. 2022a. Determination of the optimal electron beam irradiation dose for treating shrimp (*Solenocera melanthero*) by means of physical and chemical properties and bacterial communities. *LWT*, 153(10). Article number: 112539. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2021.112539>.
- Yu, Q., Pan, H., Shao, H., Qian, C. et al. 2022b. UPLC/MS-based untargeted metabolomics reveals the changes in muscle metabolism of electron beam irradiated *Solenocera melanthero* during refrigerated storage. *Food Chemistry*, 367. Article number: 130713. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2021.130713>.
- Zeng, X., Jiao, D., Yu, X., Chen, L. et al. 2022. Effect of ultra-high pressure on the relationship between endogenous proteases and protein degradation of Yesso scallop (*Mizuhopecten yessoensis*) adductor muscle during iced storage. *Food Chemistry: X*, 15. Article number: 100438. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.fochx.2022.100438>.
- Zhang, B., Pérez-Won, M., Tabilo-Munizaga, G., Aubourg, S. P. et al. 2021. Inhibition of lipid damage in refrigerated salmon (*Oncorhynchus kisutch*) by a combined treatment of CO₂ packaging and high-pressure processing. *International Journal of Food Science & Technology*, 56(11): New Alternative Proteins for Sustainable Nutrition and Healthy Diet, pp. 5433–6112. DOI: <https://doi.org/10.1111/ijfs.15179>.

- Zhang, W., Yu, Y., He, H., Lou, X. et al. 2022. The adhesion and spoilage of *Shewanella putrefaciens* in tilapia. *Foods*, 11(131). Article number: 1913. DOI: <https://doi.org/10.3390/foods11131913>.
- Zhao, L., Zhao, X., Wu, J., Lou, X. et al. 2019. Comparison of metabolic response between the planktonic and air-dried *Escherichia coli* to electrolysed water combined with ultrasound by ¹H NMR spectroscopy. *Food Research International*, 125. Article number: 108607. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2019.108607>.
- Zhou, J., Dong, X., Kong, B., Sun, Q. et al. 2023. Effects of magnetic field-assisted immersion freezing at different magnetic field intensities on the muscle quality of golden pompano (*Trachinotus ovatus*). *Food Chemistry*, 407. Article number: 135092. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2022.135092>.
- Zhu, C., Chen, L., Zeng, X., Sun, Y. et al. 2022. Effects of ultrahigh pressure-magnetic field treatment on protein properties and quality characteristics of stored shrimp (*Litopenaeus Vannamei*). *LWT*, 170. Article number: 114070. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2022.114070>.
- Zhuang, S., Hong, H., Zhang, L., Luo, Y. 2021. Spoilage-related microbiota in fish and crustaceans during storage: Research progress and future trends. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 20(1), pp. 252–288. DOI: <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12659>.
- Zhuang, S., Tan, Y., Hong, H., Li, D. et al. 2022. Exploration of the roles of spoilage bacteria in degrading grass carp proteins during chilled storage: A combined metagenomic and metabolomic approach. *Food Research International*, 152. Article number: 110926. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2021.110926>.
- Zouelm, F., Abhari, K., Hosseini, H., Khani, M. 2019. The effects of cold plasma application on quality and chemical spoilage of pacific white shrimp (*Litopenaeus vannamei*) during refrigerated storage. *Journal of Aquatic Food Product Technology*, 28(6), pp. 624–636. DOI: <https://doi.org/10.1080/10498850.2019.1627452>.

Сведения об авторе

Бурак Леонид Чеславович – ул. Пономаренко, 35А, г. Минск, Республика Беларусь, 220015; Общество с ограниченной ответственностью "БЕЛПРОСАКВА", д-р философии в области пищевых наук (PhD), канд. техн. наук, директор; e-mail: leonidburak@gmail.com, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6613-439X>

Leonid Ch. Burak – 35A Ponomarenko Str., Minsk, Republic of Belarus, 220015; Limited Liability Company BELROSAKVA, PhD, Cand. Sci. (Engineering), Director; e-mail: leonidburak@gmail.com, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6613-439X>

УДК 664.681

Технология производства овсяного печенья с применением нетрадиционного растительного сырья

Л. А. Лобосова, Т. Н. Малютина, Е. Ю. Желтоухова, Т. М. Феофанова*, В. О. Волкова
*Воронежский государственный университет инженерных технологий, г. Воронеж, Россия;
e-mail: qvaizer@bk.ru, ORCID: <https://orcid.org/0009-0003-0897-1389>

Информация о статье Реферат

Поступила
в редакцию
25.03.2024;

получена
после доработки
03.05.2024;

принята
к публикации
14.05.2024

Ключевые слова:

мучные кондитерские изделия,
овсяное печенье,
мука полбяная,
мука овсяная,
хурма, клюква,
пищевая ценность,
энергетическая ценность,
обогащенные изделия

Для цитирования

Современные тенденции развития пищевой промышленности – это разработка технологии продуктов здорового питания повышенной пищевой ценности, обогащенных новыми видами растительного сырья. У разных групп населения популярностью пользуется овсяное печенье. Цель исследования – разработка технологии получения овсяного печенья с заменой пшеничной муки высшего сорта на муку из полбы и изюма – на сушеную клюкву и хурму японскую. Обоснован выбор обогатителей. За контрольный образец принята рецептура печенья "Овсяное новое". Проводили замену пшеничной муки высшего сорта на полбяную в соотношениях 70 : 30; 50 : 50; 30 : 70; 0 : 100. На хурму заменили 30 % сахара белого. Лучшим признан образец с полной заменой пшеничной муки на полбяную. Разработана рецептура овсяного печенья "Сладкое утро". Определены органолептические и физико-химические показатели качества овсяного печенья. Антиоксидантная активность печенья нового состава – 0,28 мг кверцетина/100 г продукта, что выше, чем в контрольном образце на 0,05 мг кверцетина/100 г продукта. Проведен расчет пищевой и энергетической ценности изделий. Овсяное печенье "Сладкое утро" превышает контрольный образец по содержанию белка в 1,2 раза, пищевых волокон – в 2, витамина В₁ – 1,2, В₅ – 2,3, В₉ – 1,24, витамина С – 5,8, РР – 1,3, К – 6,3, β-каротин – 1,5; минеральные вещества К – в 1,9, Са – 1,6, Mg – 1,8, Р – 1,8; и микроэлементов: Fe – в 1,4, Zn – 2,5, Cu – 2,7, Se – 1,5, Mn – в 2,5. Энергетическая ценность нового изделия ниже на 40 ккал (167 кДж) по сравнению с контрольным образцом. Употребление овсяного печенья "Сладкое утро" рекомендовано людям, ориентированным на поддержание здорового образа жизни и сбалансированного питания.

Лобосова Л. А. и др. Технология производства овсяного печенья с применением нетрадиционного растительного сырья. Вестник МГТУ. 2024. Т. 27, № 3. С. 361–372. DOI: <https://doi.org/10.21443/1560-9278-2024-27-3-361-372>.

Technology for the production of oatmeal cookies using non-traditional plant raw materials

Larisa A. Lobosova, Tat'yana N. Mal'yutina, Ekatelina Y. Zheltoukhova,
Tat'yana M. Feofanova*, Viktoriia O. Volkova

*Voronezh State University of Engineering Technologies, Voronezh, Russia;
e-mail: qvaizer@bk.ru, ORCID: <https://orcid.org/0009-0003-0897-1389>

Article info

Received
25.03.2024;

received
in revised form
03.05.2024;

accepted
14.05.2024

Key words:

flour confectionery products,
oatmeal cookies,
spelled flour,
oat flour, persimmon,
cranberry,
the nutritional value,
energy value,
enriched products

Abstract

Modern trend in the food industry is the development of technology for healthy food products with increased nutritional value and enriched with new types of vegetable raw materials. Oatmeal cookies are popular among different groups of people. The purpose of the study is to develop a technology for producing oatmeal cookies by replacing premium wheat flour with spelled flour, and raisins with dried cranberries and Japanese persimmons. The choice of enrichment agents is justified. The recipe for the "Oatmeal New" cookie was taken as a control sample. We replaced premium wheat flour with spelled flour in a ratio of 70 : 30; 50 : 50; 30 : 70; 0 : 100. Persimmon has replaced 30 % of white sugar. The sample with full replacement of wheat flour with spelled flour is recognized as the best. A recipe for "Sweet Morning" oatmeal cookies has been developed. Organoleptic and physicochemical quality indicators of oatmeal cookies have been determined. The antioxidant activity of cookies of the new composition is 0.28 mg of quercetin/100 g of product, which is higher than in the control sample by 0.05 mg of quercetin/100 g of product. The nutritional and energy value of the products has been calculated. Oatmeal cookies "Sweet Morning" exceed the control sample in protein content by 1.2 times, dietary fiber by 2 times, vitamin B₁ – 1.2, B₅ – 2.3, B₉ – 1.24, vitamin C – 5.8, PP – 1.3, K – 6.3, β-carotene – 1.5; minerals K – 1.9, Ca – 1.6, Mg – 1.8, P – 1.8; and microelements: Fe – 1.4, Zn – 2.5, Cu – 2.7, Se – 1.5, Mn – by 2.5 times. The energy value of the new product is 40 kcal (167 kJ) lower compared to the control one. "Sweet Morning" oatmeal cookies is recommended for people focused on maintaining a healthy lifestyle and a balanced diet.

For citation

Lobosova, L. A. et al. 2024. Technology for the production of oatmeal cookies using non-traditional plant raw materials. *Vestnik of MSTU*, 27(3), pp. 361–372. (In Russ.) DOI: <https://doi.org/10.21443/1560-9278-2024-27-3-361-372>.

Введение

Приоритет развития кондитерской отрасли направлен на поиск нового сбалансированного растительного сырья, разработку технологических рецептур, отвечающих требованиям нормативной документации и соответствующих "Стратегии повышения качества пищевой продукции в Российской Федерации до 2030 года"¹.

В структуре потребительского рынка мучные кондитерские изделия, а именно различные виды печенья, пользуются стабильным спросом (*Гарькина, 2020; Балаболин и др., 2020; Сидоренко, 2022*). Популярно овсяное печенье. Овсяная мука отличается низким содержанием крахмала и повышенным – жира, при этом богата аминокислотами, витаминами, ферментами и др. веществами (*Rubela et al., 2021; Шамкова и др., 2022*). Недостатком таких изделий остается высокая калорийность, дефицит основных нутриентов, дополнительное разрушение биологически активных веществ в технологическом процессе, что приводит к нарушению сбалансированного режима питания.

Таким образом, выработка продукции высокого качества, обогащенной полезными физиологически функциональными ингредиентами, – актуальное направление развития кондитерской отрасли.

Для увеличения пищевой, уменьшения энергетической ценности овсяного печенья применяют порошок из выжимок черноплодной рябины, изюм, курагу, овсяные хлопья (*Присухина и др., 2021*).

Разработан способ производства сдобного отсадного безглютенового печенья на основе рисовой муки. В результате повышается его качество за счет улучшения органолептических показателей, возрастает пищевая ценность, сокращается продолжительность технологического процесса (*Способ производства..., 2021*).

Известен способ получения сдобного овсяного печенья профилактической направленности на растительных маслах и молочной сыворотке с сохранением традиционных органолептических характеристик, обладающего диабетической направленностью (*Сдобное овсяное..., 2020*).

Проф. АLEXИНА Н. Н. и др. разработали способ производства овсяного печенья с мукой из биоактивированного зерна пшеницы, в результате возрастает антиоксидантная активность и пищевая ценность изделий (*Способ производства..., 2023*).

Ученые Чижикова О. Г., Коршенко Л. О., Павлова М. А. предложили использовать смесь из муки овсяной и муки из красной чечевицы в рецептурном составе овсяного печенья для расширения ассортимента мучных кондитерских изделий и повышения пищевой ценности (*Состав..., 2019*).

Применение нового нетрадиционного растительного сырья в рецептурах мучных кондитерских изделий, поиск эффективных способов его переработки – это перспективное направление развития кондитерской отрасли (*Грязина, 2019; Ермош, 2019; Перфилова, 2020; Пчелинцева, 2020; Магомедов и др., 2020; Алексенко и др., 2021; Betz et al., 2021*).

Целью исследовательской работы является разработка технологии овсяного печенья на основе овсяной и полбяной муки с добавлением сушеной клюквы и японской хурмы.

Материалы и методы

Объектами исследования явились – мука пшеничная высшего сорта (ГОСТ 26574-2017²); мука овсяная (ГОСТ Р 31645-2012); мука полбяная (ТУ 9293-002-94319966-2010); изюм (ГОСТ 32896-2014); хурма (ГОСТ Р 59662-2021); клюква (ГОСТ 33309-2015); тесто; овсяное печенье (ГОСТ 24901-2014).

Лабораторные исследования проводили в условиях кафедры технологии хлебопекарного, кондитерского, макаронного и зерноперерабатывающего производств Воронежского государственного университета инженерных технологий (ВГУИТ).

Размер частиц муки пшеничной высшего сорта и полбяной определяли по ГОСТ 27560-87; реологические свойства теста – на приборе "Структурометр-1".

Согласно ГОСТ 24901-2014 определяли органолептические показатели качества, щелочность – по ГОСТ 5898-87, массовую долю влаги – согласно требованиям ГОСТ 5900-73, намокаемость – по ГОСТ 10114-80, массовую долю жира – согласно ГОСТ 31902-2012, массовую долю общего сахара – по ГОСТ 5903-89, антиоксидантную активность на приборе "ЦветЯуза-01-АА". Расчет пищевой и энергетической ценности осуществляли расчетным методом.

Результаты и обсуждение

Полбяная мука – порошок, перемолотый из злаков полбы, обладающий нежным кремовым цветом, сладковатым вкусом и ароматом с тонкой нотой ореха. Перемолотая полба – прародительница пшеничной муки, сильно напоминающая ее, но отличающаяся легкостью и воздушностью, простотой при замесе теста и его хорошим подъемом. Употребление полбяной муки оказывает положительное воздействие на работу

¹ Стратегия повышения качества пищевой продукции в Российской Федерации до 2030 года / утв. распоряжением Правительства РФ от 29 июня 2016 года № 1364-р. URL : <https://docs.cntd.ru/document/420363999?ysclid=1woplifmk5491815573>.

² Информация о нормативных актах и ГОСТах представлена в Приложении.

сердечно-сосудистой, нервной системы, стабилизирует уровень сахара в крови, укрепляет иммунитет (Хмелев, 2023).

Полбяная мука имеет богатый химический состав, который зависит от сорта зерна полбы. Применяли полбяную муку, произведенную из сорта полбы "Янтаря". Определяли максимальный размер частиц полбяной и пшеничной муки высшего сорта, который составил 44,1(+/- 0,3) и 11,4 (+/- 0,1) мкм соответственно. Этот показатель влияет на реологические свойства теста и технологический процесс мучных кондитерских изделий в целом.

Сушеная японская хурма (хошигаки) – плод вечнозеленого плодово-ягодного дерева, который традиционно очищают от кожуры и вялят на открытом воздухе поздней осенью, подвесив на ниточках к стеблям. В процессе высыхания хурма покрывается белым сахарным налетом и становится очень сладкой и вкусной. Употребление сушеной японской хурмы помогает регулировать содержание сахара и холестерина в крови, снижая их уровень и улучшая работу сосудов и организма в целом. В ее составе присутствует бетулиновая кислота, способная бороться с онкологическими болезнями и блокировать рост раковых клеток (Балаболин и др., 2022; Рождественская и др., 2023).

Сушеная клюква – ценные плоды лекарственного растения, полученные путем обезвоживания свежих ягод. В ее составе сахара, пектиновые вещества, органические кислоты, витамины В₁, В₂ и др. биологически активные вещества, обладающие противовоспалительным, жаропонижающим эффектом. Употребление клюквы нормализует обмен веществ в организме человека (Рар, 2021).

В качестве обогатителей использовали муку полбяную, сушеную хурму, клюкву (табл. 1).

Таблица 1. Химический состав муки полбяной, сушеной хурмы и клюквы
Table 1. Chemical composition of spelled flour, dried persimmon and cranberries

Наименование нутриентов	Содержание в обогатителе, мг/100 г		
	Полбяная мука	Сушеная хурма	Сушеная клюква
Белки, г	15,2	1,4	0,1
Жиры, г	2,5	0,6	1,4
Углеводы, г	64,1	59,0	76,1
Пищевые волокна, г	9,4	14,5	3,3
Зола, г	1,7	1,6	0,3
Витамины, мг			
А, мкг	–	38	3
В ₁	0,4	–	0,02
В ₂	0,11	0,03	0,02
В ₅	1,1	–	0,3
В ₆	0,23	–	0,1
В ₉ , мкг	45	–	1
К, мкг	3,6	–	5,1
Е	0,79	–	1
РР	7,0	0,2	0,3
С	–	–	15
β-каротин	–	0,4	0,04
Макроэлементы, мг			
К	388	802	119
Са	27	25	14
Mg	136	31	15
P	401	81	11
S	–	13,8	4
Микроэлементы, мг			
Fe	4,4	0,74	0,6
Mn	3,0	1,4	0,4
Cu, мкг	511	442	61
Se	12,0	–	0,1
Zn	3,28	0,42	0,1
Энергетическая ценность, ккал (кДж)	360 (1 504)	67 (280)	48 (200)

Помимо представленного химического состава в табл. 1, полбяная мука, клюква и японская хурма богаты заменимыми и незаменимыми аминокислотами, такими как аргинин, ванилин, изолейцин, аланин, глицин и др., полиненасыщенными жирными кислотами: омега-3, омега-6, линолевая, линоленовая.

В качестве контрольного образца выбрали рецептуру печенья "Овсяное новое" (Магомедов и др., 2015). В пересчете на сухие вещества заменили муку пшеничную высшего сорта на полбяную в соотношениях 70 : 30; 50 : 50; 30 : 70; 0 : 100, изюм на сушеную клюкву и японскую хурму. Снижено содержание сахара белого на 30 % за счет добавления измельченной сушеной японской хурмы. Матрица эксперимента по замене рецептурных компонентов приведена в табл. 2.

Таблица 2. Матрица эксперимента по замене рецептурных компонентов
Table 2. Matrix of the experiment on replacing prescription components

Наименование рецептурных компонентов	Опытные образцы				
	Печенье "Овсяное новое" Образец 1 (контроль)	Образец 2	Образец 3	Образец 4	Образец 5
Мука пшеничная высший сорт : полбяная	100 : 0	70 : 30	50 : 50	30 : 70	0 : 100

Во всех опытных образцах (табл. 2) содержится овсяная мука в количестве 21 % от общего количества муки.

Технологическая схема производства овсяного печенья с применением нового растительного сырья представлена на рис. 1.



Рис. 1. Технологическая схема производства овсяного печенья по разработанной технологии
Fig. 1. Technological diagram for the production of oatmeal cookies using the developed technology

Приготовление эмульсии для овсяного печенья осуществляли следующим образом: в тестомесильную машину ROAL SD-10 загружали жидкие компоненты для приготовления эмульсии: меланж, сахар белый, растопленное масло сливочное и перемешивали в течение 10 мин, добавляли воду ($t = 15–20\text{ °C}$) с растворенными в ней разрыхлителем и солью, перемешивали до образования однородной массы 15–18 мин. Параллельно в отдельной емкости готовили мучную смесь из муки овсяной, полбяной в рецептурном соотношении, замешивали тесто, смешивая эмульсию и мучную смесь в течение 12–15 мин. Вводили измельченную сушеную клюкву и японскую хурму, перемешивали 10 мин. Далее вручную формовали тесто при помощи штампа для печенья с узором хурмы от бренда SFVEFVD массой по 40 г и выпекали 10–15 мин при температуре 180 °C. Выпеченные изделия охлаждали до температуры 30–35 °C.

В процессе замеса теста определяли показатели его качества: массовую долю влаги и плотность с различными дозировками полбяной муки (табл. 3).

Таблица 3. Показатели качества теста
Table 3. Quality indicators of dough

Наименование показателя	Соотношение муки пшеничной в/с и полбяной муки, %				
	Образцы				
	1 (контроль)	2 70 : 30	3 50 : 50	4 30 : 70	5 0 : 100
Массовая доля влаги, %	18,60	16,50	17,20	18,80	20,10
Плотность, г/см ³	2,23	2,18	2,09	2,06	2,04

С увеличением дозировки полбяной муки влажность теста возрастает, это связано с тем, что полбяная мука медленнее поглощает воду в сравнении с пшеничной мукой высшего сорта. Плотность теста – в пределах от 2,23 до 2,04 г/см³.

Значение реологических показателей теста представлено на рис. 2.

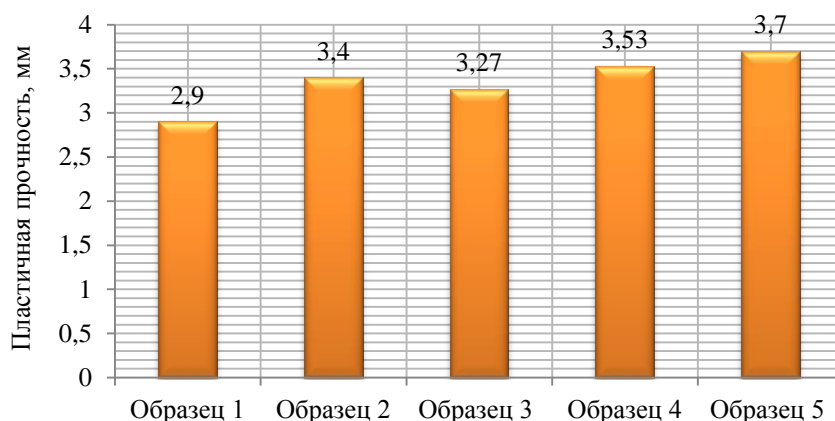


Рис. 2. Зависимость пластической прочности теста от содержания полбяной муки
Fig. 2. Dependence of the plastic strength of dough on spelled flour content

В образцах, приведенных в табл. 3, значение пластической прочности (рис. 2) увеличилось с 2,9 (контроль) до 3,7 мм, что можно объяснить большим размером частиц полбяной муки.

Через 24 ч после выпечки определяли органолептические и физико-химические показатели качества изделий (табл. 4).

Таблица 4. Органолептические и физико-химические показатели качества овсяного печенья
Table 4. Organoleptic and physicochemical quality indicators of oatmeal cookies

Наименование показателя	Соотношение муки пшеничной в/с и полбяной, %				
	Образцы				
	1 (контроль)	2 70 : 30	3 50 : 50	4 30 : 70	5 0 : 100
Органолептические показатели качества					
Вкус и запах	Сдобный вкус и аромат изюма	С легким вкусом и ароматом полбяной муки		С ярко выраженным вкусом и ароматом полбяной муки	
Цвет	Равномерный коричневый	Светло-коричневый			
Поверхность	Слегка шероховатая с извилистыми трещинами				
Вид в изломе	Пропеченное изделие, без пустот и следов непромеса, с равномерной пористой структурой				
Форма	Круглая, ровная, без вздутий и вмятин, поврежденных краев				
Физико-химические показатели качества					
Массовая доля влаги, %	10,5	10,5	10,4	10,3	10,1
Массовая доля общего сахара, %	23,21	23,33	23,45	24,52	24,71
Массовая доля жира, %	24,5	24,3	24,2	24,0	23,9
Намокаемость, %	180,0	205,0	218,0	223,0	226,0
Щелочность, град	1,8	1,6	1,7	1,8	1,8

Лучшими органолептическими показателями обладает образец с массовой долей полбяной муки 100 %. Он обладает высокой потребительской привлекательностью – более хрупок при раскусывании, при этом сохраняет форму при нагрузке на излом, что в дальнейшем позволит сократить количество брака при упаковке, транспортировке и реализации овсяного печенья. Внесение 70 % не оказывает существенного влияния на качественные показатели, пищевую и энергетическую ценность.

Массовая доля влаги нового овсяного печенья соответствует требованиям ГОСТ, согласно которому это значение должно быть не более 10,5 %. Отмечено, что пропорционально увеличению дозировки полбяной муки снижалась влажность овсяного печенья, что обуславливается тем, что при замесе теста влага связывалась медленнее (в сравнении с контрольным образцом), и при выпечке овсяного печенья процесс влагоотдачи происходит интенсивнее.

Возрастание массовой доли общего сахара в опытных образцах происходит за счет вносимого сырья – полбяной муки и фруктово-ягодного ингредиента (табл. 4).

Количество жира не превышает значение, указанное в ГОСТ 24901-2014.

Намокаемость овсяного печенья возрастает на 46 % с увеличением полбяной муки, что соответствует требованиям ГОСТ 24901-2014 (не менее 150 %). Результат достигнут за счет водопоглотительной способности полбяной и овсяной муки.

Показатель щелочности печенья снижался с увеличением дозировки полбяной муки в сравнении с контрольным образцом на 0,2–0,1 град.

Проведена дегустационная оценка по 10-балльной шкале по органолептическим показателям качества овсяного печенья (образец 5) и контрольного образца (образец 1). Построена лепестковая профилограмма (рис. 3).

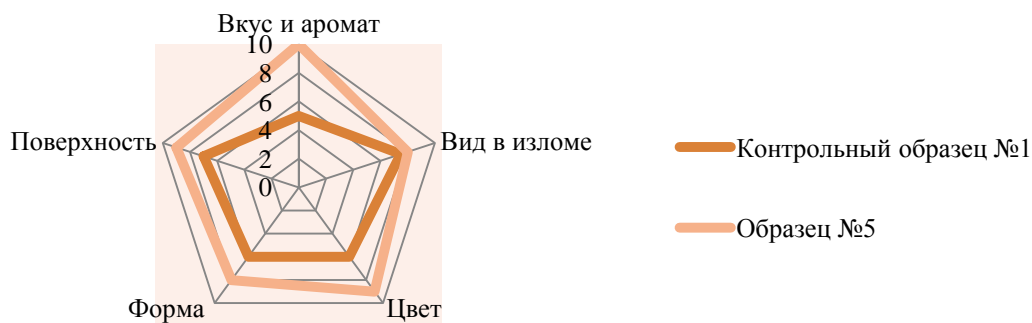


Рис. 3. Лепестковая профилограмма образцов с наивысшим баллом и контрольного образца
Fig. 3. Petal profilogram of samples with the highest score and the control one

Определена антиоксидантная активность контрольного образца и овсяного печенья "Сладкое утро" – 0,28 мг кверцетина/100 г продукта, что выше, чем в контрольном образце на 0,05 мг кверцетина/100 г продукта (рис. 4), так как в новом овсяном печенье содержится больше антиоксидантов.

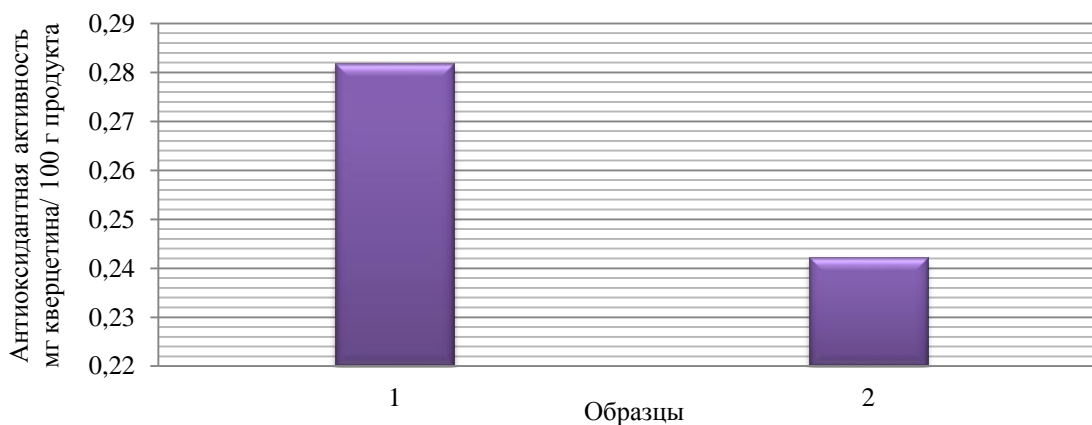


Рис. 4. Содержание антиоксидантов в изделиях:
1 – печенье овсяное "Сладкое утро"; 2 – контроль "Овсяное новое"
Fig. 4. Content of antioxidants in products: 1 – "Sweet Morning" oatmeal cookies; 2 – control "Oatmeal new"

В процессе хранения (7 сут) овсяного печенья "Сладкое утро" определяли изменение массовой доли влаги и массы изделий (рис. 5, 6).

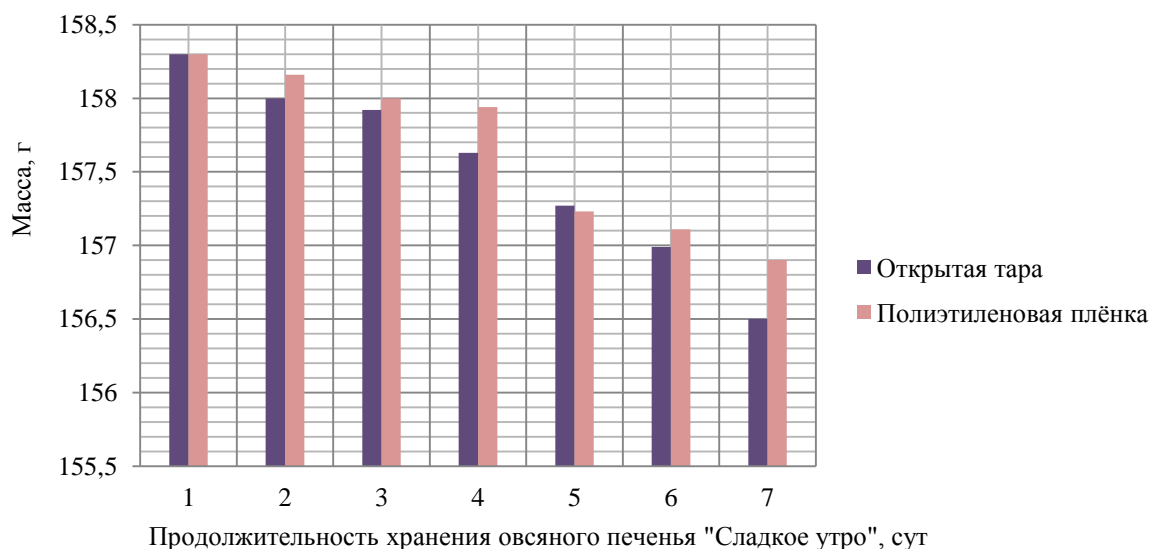


Рис. 5. Изменение массы печенья овсяного "Сладкое утро" при хранении в открытой таре и полиэтиленовой стрейч-пленке
Fig. 5. Change in the mass of oatmeal cookies "Sweet Morning" when stored in open containers and polyethylene stretch film

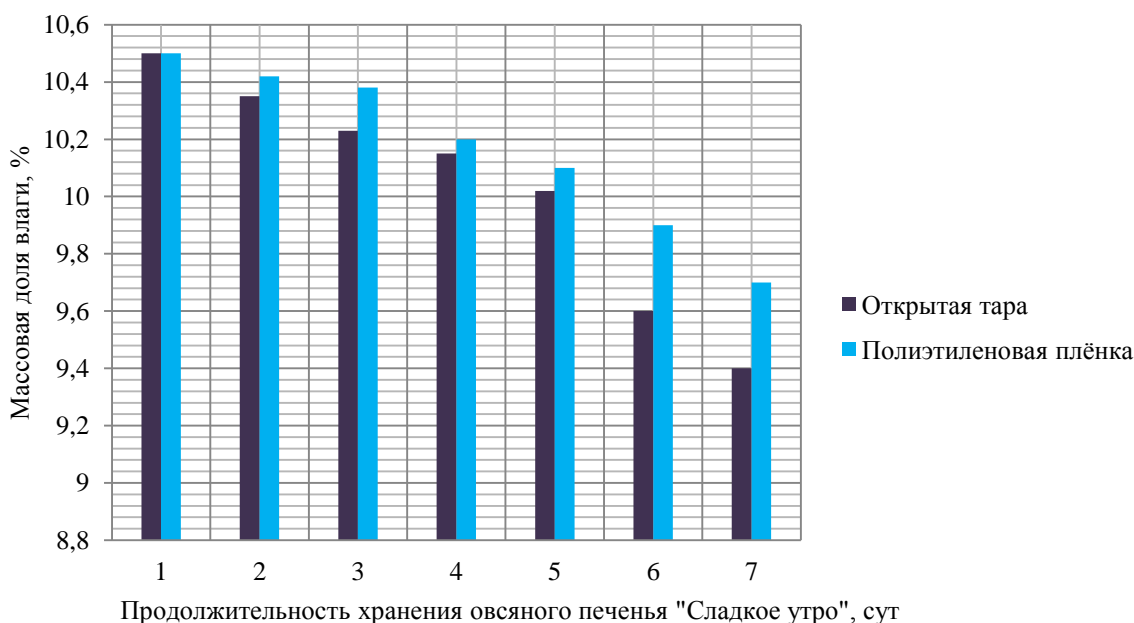


Рис. 6. Изменение массовой доли влаги печенья овсяного "Сладкое утро" при хранении в открытой таре и полиэтиленовой стрейч-пленке
Fig. 6. Change in the mass fraction of moisture in oatmeal cookies "Sweet Morning" when stored in open containers and polyethylene stretch film

Масса печенья уменьшалась с 158,3 до 156,5 г в открытой таре и с 158,3 до 156,9 г в полиэтиленовой пленке. При хранении овсяного печенья нового состава массовая доля влаги снижалась от 10,5 до 9,4 % в открытой таре и от 10,5 до 9,7 % в полиэтиленовой пленке. Добавление полбяной муки, сушеной японской хурмы и клюквы прочно связывает влагу в печенье ввиду высокого содержания пищевых волокон.

Проведен расчет пищевой и энергетической ценности, а также степени удовлетворения суточной потребности в основных нутриентах контрольного образца и овсяного печенья "Сладкое утро" (табл. 5).

Таблица 5. Расчет пищевой и энергетической ценности овсяного печенья и степени удовлетворения суточной потребности в основных нутриентах
Table 5. Calculation of the nutritional and energy value of oatmeal cookies and the degree to which the daily requirement for basic nutrients is met

Наименование пищевых веществ	Контроль "Овсяное новое"	Степень удовлетворения, %	Овсяное печенье "Сладкое утро"	Степень удовлетворения, %	Суточная потребность по нормам ТР/ТС 2021 г.
Белки, г	7,83	10,30	9,25	12,17	76
Жиры, г	24,5	43,75	23,9	42,68	56
Углеводы, г	74,97	34,23	77,28	35,29	219
Пищевые волокна, г	3,32	16,60	6,2	31,00	30
Зола, г	1,42	–	1,5	–	–
Витамины, мг/мкг					
А, мкг	0,07	7,78	1,96	217,78	0,90
В ₁	0,20	13,33	0,24	16,00	1,50
В ₂	0,80	44,44	0,08	4,44	1,80
В ₅	0,16	3,20	0,36	7,20	5,00
В ₆	0,08	4,00	0,08	4,00	2,00
В ₉ , мкг	11,56	2,89	14,36	3,59	400,00
С	0,13	0,14	0,75	0,83	90,00
РР	2,80	14,00	3,64	18,20	20,00
К	0,22	0,18	1,40	1,17	120,00
β-каротин	0,00	–	0,02	0,40	5,00
Е	1,19	7,93	0,91	6,07	15,00
Макроэлементы, мг					
К	182,09	14,01	355	14,20	2 500
Са	32,71	2,52	54	5,40	1 000
Мg	46,02	3,54	84	21,00	400
Р	139,21	10,71	252	31,50	800
Микроэлементы, мг					
Fe	1,92	10,67	2,75	15,28	18,00
Сu, мкг	8,81	881,00	23,80	2 380,00	1,00
Se	2,54	423,33	3,83	638,33	0,60
Мn	0,48	24,00	1,22	61,00	2,00
Zn	0,44	3,67	1,12	9,33	12,00
Энергетическая ценность, ккал(кДж)	402 (1 680)	–	392 (1 638)	–	–

Таким образом, овсяное печенье "Сладкое утро" превышает контрольный образец по содержанию белка в 1,2 раза, пищевых волокон – в 2, витамина В₁ – 1,2, В₅ – 2,3, В₉ – 1,24, витамина С – 5,8, РР – 1,3, К – 6,3, β-каротин – 1,5; минеральные вещества К – 1,9, Са – 1,6, Мg – 1,8, Р – 1,8; микроэлементов: Fe – 1,4, Zn – 2,5, Cu – 2,7, Se – 1,5, Mn – в 2,5 раза.

Энергетическая ценность нового изделия – 402 ккал (1 680 кДж), что ниже на 42 ккал (175,5 кДж) по сравнению с контрольным образцом.

Заключение

В результате проведенного эксперимента установлено влияние полбяной муки на показатели качества овсяного печенья, которое соответствует требованиям ГОСТ 24901-2014. Было получено пластичное тесто и в дальнейшем более хрупкое, с разрыхленной структурой овсяное печенье.

Преимущество полбяной муки, сушеной клюквы и японской хурмы заключается в богатом природном источнике витаминов, минералов, заменимых и незаменимых аминокислот и полиненасыщенных жирных кислот. Применение нового растительного сырья является целесообразным. Частичная замена сахара белого на сушеную японскую хурму приводит к снижению содержания дисахаридов в готовом изделии.

Разработанная технология производства овсяного печенья "Сладкое утро" на полбяной и овсяной муке, с добавлением сушеной клюквы и японской хурмы, позволяет получить печенье с высокими потребительскими свойствами, расширить ассортимент обогащенных мучных кондитерских изделий. Употребление овсяного печенья "Сладкое утро" рекомендовано людям, ориентированным на поддержание здорового образа жизни и сбалансированного питания.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Библиографический список

- Алексенко Е. В., Белявская И. Г., Зайцева Л. В., Уварова А. Г. Сдобное печенье повышенной пищевой ценности // *Хранение и переработка сельхозсырья*. 2021. № 2. С. 121–133. DOI: <https://doi.org/10.36107/spfp.2021.223>. EDN: GWQDQK.
- Балаболин Д. Н., Ливинский А. А., Марченко С. С. Анализ ассортимента овсяного печенья, реализуемого в торговых сетях Москвы // *Товаровед продовольственных товаров*. 2020. № 2. С. 42–47. EDN: WPGEOQ.
- Гарькина П. К., Горбачева О. Н. Тенденции в снижении энергетической ценности мучных кондитерских изделий // *Инновационная техника и технология*. 2020. № 2(23). С. 5–10. EDN: JVHQBFB.
- Грязина Ф. И. Улучшение рецептуры сдобного печенья нетрадиционным растительным сырьем // *Агропромышленные технологии Центральной России*. 2019. № 2(12). С. 19–25. DOI: <https://doi.org/10.24888/2541-7835-2019-12-19-25>. EDN: DWNDOW.
- Ермош Л. Г., Присухина Н. В., Казина В. В. Использование порошка из ягод ирги в качестве заменителя сахара в производстве мучных кондитерских изделий // *Вестник КрасГАУ*. 2019. № 12(153). С. 131–138. DOI: <https://doi.org/10.36718/1819-4036-2019-12-131-138>. EDN: GVRBOJ.
- Магомедов Г. О., Лобосова Л. А., Малюткина Т. Н., Рожков С. А. Кексы с полбяной мукой для питания детей младшего школьного возраста // *Хранение и переработка сельхозсырья*. 2020. № 2. С. 112–122. DOI: <https://doi.org/10.36107/spfp.2020.249>. EDN: GIWRUZ.
- Магомедов Г. О., Олейникова А. Я., Плотникова И. В., Лобосова Л. А. Функциональные пищевые ингредиенты и добавки в производстве кондитерских изделий // *ГИОРД*. 2015. 440 с.
- Перфилова О. В., Бабушкин В. А., Медведева С. М., Чичканов Н. М. Технология и рецептура сдобного печенья с добавлением продуктов переработки яблочных выжимок // *Наука и образование*. 2020. Т. 3, № 4. С. 157. EDN: YOCFTC.
- Присухина Н. В., Матюшев В. В., Демиденко Г. А., Машанов А. И. [и др.]. Применение нетрадиционных видов сырья в производстве овсяного печенья // *Международный научно-исследовательский журнал*. 2021. № 11–1(113). С. 47–53. DOI: [10.23670/IRJ.2021.113.11.010](https://doi.org/10.23670/IRJ.2021.113.11.010). EDN: IZKVFQ.
- Пчелинцева О. Н., Бочкарева З. А., Лукьянова Е. А. Потребительские свойства песочного печенья с добавлением кукурузной муки и свекольного порошка // *Ползуновский вестник*. 2020. № 1. С. 85–89. DOI: <https://doi.org/10.25712/astu.2072-8921.2020.01.017>. EDN: YGLHAG.
- Рождественская Л. Н., Романенко С. П., Чугунова О. В. Перспективы нутриентного профилирования для профилактики заболеваний и укрепления здоровья // *Индустрия питания*. 2023. Т. 8, № 2. С. 63–72. DOI: <https://doi.org/10.29141/2500-1922-2023-8-2-7>. EDN: LHQLXH.
- Сдобное овсяное печенье на растительных маслах и молочной сыворотке : пат. 2723961 Рос. Федерация / В. А. Васькина, Д. С. Бабаева, А. А. Двоглазова, Н. Д. Соколова [и др.] ; № 2019145029 ; заявл. 30.12.2019 ; опубл. 18.06.20, Бюл. № 17.
- Сидоренко Е. В. Анализ российского рынка мучных кондитерских изделий с применением нетрадиционного сырья // *Стратегии бизнеса*. 2022. Т. 10, № 2. С. 50–51. DOI: <https://doi.org/10.17747/2311-7184-2022-2-50-51>. EDN: BUZVHS.
- Состав для приготовления овсяного печенья : пат. 2679840 Рос. Федерация / О. Г. Чижикова, Л. О. Корщенко, М. А. Павлова ; № 2018112175 ; заявл. 05.04.18 ; опубл. 13.02.2019, Бюл. № 5.
- Способ производства печенья овсяного : пат. 2797235 Рос. Федерация / Н. Н. Алёхина, Т. С. Андреанова, О. И. Губина, А. В. Николина ; № 2022127137 ; заявл. 19.10.2022 ; опубл. 01.06.2023, Бюл. № 16.
- Способ производства сдобного печенья безглютенового отсадного на основе рисовой муки : пат. 2758508 Рос. Федерация / Г. О. Магомедов, И. В. Плотникова, М. Г. Магомедов, Т. А. Шевякова [и др.] ; № 2021107424 ; заявл. 22.03.21 ; опубл. 29.10.2021, Бюл. № 31.
- Ткешелашвили М. Е., Бобожонова Г. А. Использование натуральных сахарозаменителей в производстве овсяного печенья // *Товаровед продовольственных товаров*. 2022. № 5. С. 316–318. DOI: <https://doi.org/10.33920/igt-01-2205-04>. EDN: ZSUXNC.
- Хмелева Е. В. Использование зерна полбы в технологии зернового хлеба повышенной пищевой ценности // *Индустрия питания*. 2023. Т. 8, № 1. С. 64–73. DOI: <https://doi.org/10.29141/2500-1922-2023-8-1-7>. EDN: KCGGFW.
- Шамкова Н. Т., Тамова М. Ю., Варивода А. А., Шелест Н. С. Математическое моделирование рецептуры овсяного печенья, обогащенного продуктами переработки топинамбура // *Новые технологии*. 2022. Т. 18, № 3. С. 106–117. DOI: <https://doi.org/10.47370/2072-0920-2022-18-3-106-117>. EDN: LXKKZM.
- Betz J., Naumova N., Buchel A., Zhuravel V. [et al.]. The quality and nutritional value of oatmeal cookies of different recipes // *Bulletin of the Transilvania University of Brasov. Series II: Forestry. Wood Industry. Agricultural Food Engineering*. 2021. Vol. 14(63), No 1. P. 109–118. DOI: <https://doi.org/10.31926/but.fwiafe.2021.14.63.1.10>.

- Pap N., Fidelis M., Azevedo L., do Carmo M. A. V. [et al.]. Berry polyphenols and human health: Evidence of antioxidant, anti-inflammatory, microbiota modulation, and cell-protecting effects // *Current Opinion in Food Science*. 2021. Vol. 42. P. 167–186. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.cofs.2021.06.003>.
- Rubel I. A., Iraporda C., Manrique G. D., Genovese D. B. [et al.]. Inulin from Jerusalem artichoke (*Helianthus tuberosus* L.): From its biosynthesis to its application as bioactive ingredient // *Bioactive Carbohydrates and Dietary Fibre*. 2021. Vol. 26. Article number: 100281. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.bcdf.2021.100281>.

References

- Aleksenko, E. V., Belyavskaya, I. G., Zaitseva, L. V., Uvarova, A. G. 2021. Butter cookies with increased nutritional value. *Storage and Processing of Farm Products*, 2, pp. 121–133. DOI: <https://doi.org/10.36107/spfp.2021.223>. EDN: GWQDQK. (In Russ.)
- Balabolin, D. N., Livinsky, A. A., Marchenko, S. S. 2020. Analysis of the assortment of oatmeal cookies sold in Moscow retail chains. *Food Products Commodity Expert*, 2, pp. 42–47. EDN: WPGEOQ. (In Russ.)
- Garkina, P. K., Gorbacheva, O. N. 2020. Trends in reducing the energy value of flour confectionery products. *Innovative Machinery and Technology*, 2(23), pp. 5–10. EDN: JVHQBf. (In Russ.)
- Gryazina, F. I. 2019. Improving the recipe of butter cookies with non-traditional plant raw materials. *Agro-Industrial Technologies of the Central Russia*, 2(12), pp. 19–25. DOI: <https://doi.org/10.24888/2541-7835-2019-12-19-25>. EDN: DWNDOW. (In Russ.)
- Ermosh, L. G., Prisukhina, N. V., Kazina, V. V. 2019. Using powder from serviceberry berries as a sugar substitute in the production of flour confectionery products. *Bulletin of KSAU*, 12(153), pp. 131–138. DOI: <https://doi.org/10.36718/1819-4036-2019-12-131-138>. EDN: GVRBOJ. (In Russ.)
- Magomedov, G. O., Lobosova, L. A., Maljutina, T. N., Rozhkov, S. A. 2020. Muffins with spelled flour for feeding primary school children. *Storage and Processing of Farm Products*, 2, pp. 112–122. DOI: <https://doi.org/10.36107/spfp.2020.249>. EDN: GIWRUZ. (In Russ.)
- Magomedov, G. O., Oleynikova, A. Ya., Plotnikova, I. V., Lobosova, L. A. 2015. Functional food ingredients and additives in the production of confectionery products. Moscow. (In Russ.)
- Perfilova, O. V., Babushkin, V. A., Medvedeva, S. M., Chichkanov, N. M. 2020. Technology and recipe of butter cookies with the addition of processed apple pomace products. *Nauka I Obrazovanie*, 3(4), pp. 157. EDN: YOCFTC. (In Russ.)
- Prisukhina, N. V., Matyushev, V. V., Demidenko, G. A., Mashanov, A. I. et al. 2021. The use of non-traditional types of raw materials in the production of oatmeal cookies. *International Research Journal*, 11–1(113), pp. 47–53. DOI: [10.23670/IRJ.2021.113.11.010](https://doi.org/10.23670/IRJ.2021.113.11.010). EDN: IZKVFQ. (In Russ.)
- Pchelintseva, O. N., Bochkareva, Z. A., Luk'yanova, E. A. 2020. Consumer properties of shortbread cookies with the addition of corn flour and beet powder. *Polzunovskiy Vestnik*, 1, pp. 85–89. DOI: <https://doi.org/10.25712/astu.2072-8921.2020.01.017>. EDN: YGLHAG. (In Russ.)
- Rozhdestvenskaya, L. N., Romanenko, S. P., Chugunova, O. V. 2023. Prospects for nutrient profiling for disease prevention and health promotion. *Food Industry*, 8(2), pp. 63–72. DOI: <https://doi.org/10.29141/2500-1922-2023-8-2-7>. EDN: LHQLXH. (In Russ.)
- Vaskina, V. A., Babaeva, D. S., Dvoeglazova, A. A., Sokolova, N. D. et al. 2020. Butter oatmeal cookies made with vegetable oils and whey, Rus. Federation, Pat. 2723961. (In Russ.)
- Sidorenko, E. V. 2022. Analysis of the Russian market of flour confectionery products using non-traditional raw materials. *Business Strategies*, 10(2), pp. 50–51. DOI: <https://doi.org/10.17747/2311-7184-2022-2-50-51>. EDN: BUZBHS. (In Russ.)
- Chizhikova, O. G., Korshenko, L. O., Pavlova, M. A. 2019. Composition for making oatmeal cookies, Rus. Federation, Pat. 2679840. (In Russ.)
- Alyokhina, N. N., Andreanova, T. S., Gubina, O. I., Nikolina, A. V. 2023. Method for producing oatmeal cookies, Rus. Federation, Pat. 2797235. (In Russ.)
- Magomedov, G. O., Plotnikova, I. V., Magomedov, M. G., Shevyakova, T. A. et al. 2021. Method for the production of gluten-free butter cookies based on rice flour, Rus. Federation, Pat. 2758508. (In Russ.)
- Tkeshelashvili, M. E., Bobozhonova, G. A. 2022. The use of natural sweeteners in the production of oatmeal cookies. *Food Products Commodity Expert*, 5, pp. 316–318. DOI: <https://doi.org/10.33920/igt-01-2205-04>. EDN: ZSUXNC. (In Russ.)
- Khmeleva, E. V. 2023. The use of spelled grain in the technology of grain bread with increased nutritional value. *Food Industry*, 8(1), pp. 64–73. DOI: <https://doi.org/10.29141/2500-1922-2023-8-1-7>. EDN: KCGGFw. (In Russ.)
- Shamkova, N. T., Tamova, M. Yu., Varivoda, A. A., Shelest, N. S. 2022. Mathematical modeling of the recipe for oatmeal cookies enriched with Jerusalem artichoke processing products. *New Technologies*, 18(3), pp. 106–117. DOI: <https://doi.org/10.47370/2072-0920-2022-18-3-106-117>. EDN: LXKKZM. (In Russ.)
- Betz, J., Naumova, N., Buchel, A., Zhuravel, V. et al. 2021. The quality and nutritional value of oatmeal cookies of different recipes. *Bulletin of the Transilvania University of Brasov. Series II: Forestry. Wood Industry. Agricultural Food Engineering*, 14(63–1), pp. 109–118. DOI: <https://doi.org/10.31926/but.fwiafe.2021.14.63.1.10>.

- Par, N., Fidelis, M., Azevedo, L., do Carmo, M. A. V. et al. 2021. Berry polyphenols and human health: Evidence of antioxidant, anti-inflammatory, microbiota modulation, and cell-protecting effects. *Current Opinion in Food Science*, 42, pp. 167–186. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.cofs.2021.06.003>.
- Rubel, I. A., Iraporda, C., Manrique, G. D., Genovese, D. B. et al. 2021. Inulin from Jerusalem artichoke (*Helianthus tuberosus* L.): From its biosynthesis to its application as bioactive ingredient. *Bioactive Carbohydrates and Dietary Fibre*, 26. Article number: 100281. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.bcdf.2021.100281>.

Сведения об авторах

Лобосова Лариса Анатольевна – ул. Проспект Революции, 19, г. Воронеж, Россия, 394036;
Воронежский государственный университет инженерных технологий, канд. техн. наук, доцент;
e-mail: lobosova63@mail.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7147-1297>

Larisa A. Lobosova – 19 Prospekt Revolyutsii Str., Voronezh, Russia, 394036;
Voronezh State University of Engineering Technologies, Cand. Sci. (Engineering), Associate Professor;
e-mail: lobosova63@mail.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7147-1297>

Малютина Татьяна Николаевна – ул. Проспект Революции, 19, г. Воронеж, Россия, 394036;
Воронежский государственный университет инженерных технологий, канд. техн. наук, доцент;
e-mail: tmalutina@inbox.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8741-4684>

Tat'yana N. Malutina – 19 Prospekt Revolyutsii Str., Voronezh, Russia, 394036;
Voronezh State University of Engineering Technologies, Cand. Sci. (Engineering), Associate Professor;
e-mail: tmalutina@inbox.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8741-4684>

Желтоухова Екатерина Юрьевна – ул. Проспект Революции, 19, г. Воронеж, Россия, 394036;
Воронежский государственный университет инженерных технологий, канд. техн. наук, доцент;
e-mail: katsturova@gmail.com, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7463-9013>

Ekatelina Yu. Zheltoukhova – 19 Prospekt Revolyutsii Str., Voronezh, Russia, 394036;
Voronezh State University of Engineering Technologies, Cand. Sci. (Engineering), Associate Professor;
e-mail: katsturova@gmail.com, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7463-9013>

Феофанова Татьяна Михайловна – ул. Проспект Революции, 19, г. Воронеж, Россия, 394036;
Воронежский государственный университет инженерных технологий, магистр;
e-mail: qvaizer@bk.ru, ORCID: <https://orcid.org/0009-0003-0897-1389>

Tat'yana M. Feofanova – 19 Prospekt Revolyutsii Str., Voronezh, Russia, 394036;
Voronezh State University of Engineering Technologies, Master Student;
e-mail: qvaizer@bk.ru, ORCID: <https://orcid.org/0009-0003-0897-1389>

Волкова Виктория Олеговна – ул. Проспект Революции, 19, г. Воронеж, Россия, 394036;
Воронежский государственный университет инженерных технологий, магистр;
e-mail: vovolkova512@mail.ru, ORCID: <https://orcid.org/0009-0004-7470-1341>

Viktoriiia O. Volkova – 19 Prospekt Revolyutsii Str., Voronezh, Russia, 394036;
Voronezh State University of Engineering Technologies, Master Student;
e-mail: vovolkova512@mail.ru, ORCID: <https://orcid.org/0009-0004-7470-1341>

Нормативные документы, использованные в статье

ГОСТ 10114-80	Изделия кондитерские мучные. Метод определения намокаемости. М., 2012.
ГОСТ 24901-2014	Печенье. Общие технические условия. М., 2019.
ГОСТ 26574-2017	Мука пшеничная хлебопекарная. Технические условия. М., 2018.
ГОСТ 27560-87	Мука и отруби. Метод определения крупности. М., 2007.
ГОСТ 31902-2012	Изделия кондитерские. Методы определения массовой доли жира. М., 2014.
ГОСТ 32896-2014	Фрукты сушеные. Общие технические условия. М., 2019.
ГОСТ 33309-2015	Клюква свежая. Технические условия. М., 2019.
ГОСТ 5898-87	Изделия кондитерские. Методы определения кислотности и щелочности. М., 2012.
ГОСТ 5900-73	Изделия кондитерские. Методы определения влаги и сухих веществ. М., 2012.
ГОСТ 5903-89	Изделия кондитерские. Методы определения сахара. М., 2012.
ГОСТ Р 31645-2012	Мука для продуктов детского питания. Технические условия. М., 2019.
ГОСТ Р 59662-2021	Хурма свежая. Технические условия. М., 2021.
ТУ 9293-002-94319966-2010	Мука полбяная. Технические условия. URL: https://e-ecolog.ru/crc/16.11.08.929.%D0%A2.000284.08.10?utm_referrer=https%3A%2F%2Fyandex.ru%2F .
ТР/ТС 2021	О безопасности пищевой продукции : технический регламент Таможенного союза ТР ТС 021/2011 : утв. Решением Комиссии Таможенного союза от 9 дек. 2011 г. № 880 (с изменениями на 25 ноября 2022 года). URL: https://docs.cntd.ru/document/902320560?ysclid=lx1gj9dxu0687326720 .

УДК:637.146.1

Влияние функциональных ингредиентов на качественные показатели творожного продукта и его хранимоспособность

А. П. Пакулина*, Л. М. Захарова, Л. Л. Пашина, К. Р. Бабухадия, П. Н. Школьников

*Дальневосточный государственный аграрный университет, г. Благовещенск, Россия;
e-mail: pakusina.a@yandex.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5547-3444>

Информация о статье Реферат

Поступила
в редакцию
03.05.2024;

принята
к публикации
07.06.2024

Ключевые слова:

функциональные
ингредиенты,
зостерин,
жимолость,
творожный продукт,
хранимоспособность

Решение проблемы рационализации питания населения, снижения отрицательного влияния на организм человека вредных факторов (физических, химических) внешней среды возможно с помощью создания функциональных продуктов, в состав которых входят белки, витамины, антиоксиданты, пектины и другие эссенциальные нутриенты, дефицит которых отмечен медико-биологическими исследованиями. На основании теоретических и экспериментальных исследований отобраны компоненты, в состав которых входят функциональные ингредиенты: зостерин – природный полисахарид и растительный наполнитель – ягодный сок жимолости. В качестве основы функционального продукта выбран нежирный творог, в состав которого входят белки, минеральные вещества, серосодержащие соединения и другие вещества. В результате проведенных исследований сформированы технологические подходы и обоснован компонентный состав творожного продукта с зостерином и ягодным соком. Установлены соотношения зостерина и сока жимолости по отношению к массе творога, обеспечивающие должный технологический и профилактический эффект. Изучены органолептические, структурно-механические, физико-химические показатели творожного продукта. Рассчитана пищевая и энергетическая ценность. Разработанный творожный продукт имеет повышенную пищевую ценность, в его состав входят биологически важные компоненты – витамины, минеральные соли, полифенольные вещества, пектины. Он обладает высокой усвояемостью за счет гомогенизации всех компонентов и комплементарной органолептики: приятного аромата и вкуса, однородной, нежной консистенции, привлекательных внешних характеристик. Изучено влияние зостерина и ягодного сока на качественные показатели творожного продукта в процессе хранения. Доказано, что введение зостерина и ягодного сока позволяет затормозить нежелательные процессы, и, следовательно, продлить сроки годности продукта.

Для цитирования

Пакулина А. П. и др. Влияние функциональных ингредиентов на качественные показатели творожного продукта и его хранимоспособность. Вестник МГТУ. 2024. Т. 27, № 3. С. 373–384. DOI: <https://doi.org/10.21443/1560-9278-2024-27-3-373-384>.

The effect of functional ingredients on the quality of the curd product and its storage capacity

Antonina P. Pakusina*, Lyudmila M. Zakharova, Lyubov L. Pashina,
Ketevan R. Babukhadiya, Pavel N. Shkolnikov

*Far Eastern State Agrarian University, Blagoveshchensk, Russia;
e-mail: pakusina.a@yandex.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5547-3444>

Article info

Received
03.05.2024;

accepted
07.06.2024

Key words:

functional ingredients,
zosterin,
honeysuckle,
cottage cheese product,
storage capacity

Abstract

The solution to the problem of rationalizing the nutrition of the population, reducing the negative impact on the human body of harmful factors (physical, chemical) of the external environment is possible by creating functional products that include proteins, vitamins, antioxidants, pectins and other essential nutrients, the deficiency of which has been noted by biomedical research. Based on theoretical and experimental studies, the components were selected including functional ingredients: zosterin – a natural polysaccharide and vegetable filler – honeysuckle berry juice. Low-fat cottage cheese, which includes proteins, minerals, sulfur-containing compounds and other substances, was chosen as the basis of the functional product. As a result of the conducted research, technological approaches were formed and the component composition of the curd product with zosterin and berry juice was justified. The ratios of zosterol and honeysuckle juice in relation to the mass of cottage cheese have been established, ensuring proper technological and preventive effect. The organoleptic, structural-mechanical, physico-chemical parameters of the curd product have been studied. The nutritional and energy value is calculated. The developed curd product has an increased nutritional value, it contains biologically important components – vitamins, mineral salts, polyphenolic substances, pectins. It has a high digestibility due to the homogenization of all components and complementary organoleptics: pleasant aroma and taste, homogeneous, delicate consistency, attractive external characteristics. The effect of zosterol and berry juice on the quality of the curd product during storage has been studied. It has been proven that the introduction of zosterol and berry juice allows you to slow down undesirable processes, and, consequently, extend the shelf life of the product.

For citation

Pakusina, A. P. et al. 2024. The effect of functional ingredients on the quality of the curd product and its storage capacity. *Vestnik of MSTU*, 27(3), pp. 373–384. (In Russ.) DOI: <https://doi.org/10.21443/1560-9278-2024-27-3-373-384>.

Введение

В последнее время наблюдается нарушение структуры питания из-за дефицита входящих в продукты основных компонентов, в частности белка, а также биологически активных веществ. Отмечено снижение потребления на 7 % общего белка, животного белка – на 18 % (Научно-исследовательский институт питания (НИИ питания) РАМН, г. Москва). Еще больший дефицит белка в питании испытывают социально незащищенные слои населения и больные люди. Резко снизилось потребление овощей, фруктов; дефицит витаминов составляет 20–50 %. Компенсировать дефицит в организме биологически активных компонентов возможно за счет обогащения молока и молочных продуктов. Следует отметить, что молоко и молочные продукты относятся к наиболее ценной категории продукции, восполняющей дефицит белка. Фактическое недополучение белка в большинстве случаев является следствием потребления человеком продуктов, способных полностью удовлетворить общие потребности организма в энергии за счет углеводов и жиров. Для решения проблемы дефицита белка и биологически активных веществ необходимо вводить в рационы питания продукты, сбалансированные по содержанию белков, жиров, углеводов и эссенциальных нутриентов.

Молочным продуктам, учитывая их биологическую ценность, отводится первостепенная роль в организации позитивного питания населения. В нашей стране творог и творожные продукты считаются незаменимыми продуктами питания для всех возрастных групп населения благодаря значительному содержанию в них полноценных белков, минеральных веществ – кальция, фосфора, магния, железа, серосодержащих соединений – метионина, лизина, холина и других веществ, которые обуславливают их высокую пищевую и биологическую ценность. Однако срок годности творога и творожных продуктов невелик, они быстро теряют свои первоначальные свойства в результате развития в них нежелательной микрофлоры, появляющейся в продукте в процессе производства и хранения. Проблема увеличения стойкости при хранении этой группы продуктов приобретает все большее значение, так как является одним из важнейших показателей качества.

Современные требования к условиям производства и реализации данной группы молочных продуктов предусматривают применение специальных технологий, обеспечивающих высокое качество вырабатываемой продукции и максимально допустимое увеличение сроков годности. Возможным подходом к решению задачи создания творога и творожных продуктов с длительным сроком годности является использование новых методов обработки различных видов сырья, в том числе и нетрадиционного, применение высокотехнологичного оборудования и специальных пищевых добавок, препятствующих развитию остаточной микрофлоры и нежелательных физико-химических процессов при реализации продукции, что привлекает к себе пристальное внимание исследователей и практиков (*Захарова и др., 2014*).

Кроме этого, чрезвычайно важным направлением является создание продуктов, обладающих защитными свойствами и обеспечивающих устойчивость организма к воздействию радиации и других неблагоприятных факторов окружающей среды. В этом направлении большое внимание уделяется разработке продуктов с биологически активными веществами.

На российском рынке все чаще стали появляться молочные продукты нового поколения, обогащенные растительными экстрактами и биологически активными добавками, содержащими витамины, минеральные вещества, пищевые волокна и другие эссенциальные нутриенты (*Решетник и др., 2013*). Увеличение ассортимента этой категории продуктов обосновывается ростом спроса населения, проявляющим заботу о своем здоровье и внешнем виде. В связи с этим повысился интерес и производителей к пищевым и биологически активным добавкам, которые, с одной стороны, способствуют формированию дополнительных звеньев в цепи защиты организма и увеличению ее резервных возможностей, а с другой – улучшают органолептическую оценку и повышают сроки годности вырабатываемых продуктов.

Благодаря свойствам, выявленным в последние годы, особое внимание с этой точки зрения привлекают пектины, которые используются в качестве эффективных гиполлипидемических средств для коррекции липидного обмена. Пектины модифицируют синтез и оборот желчных кислот, проявляют гиполлипидемический, иммуностимулирующий, антиканцерогенный, противодиарейный эффект, усиливают чувство насыщения, служат эффективными антидотами при интоксикации тяжелыми металлами и радионуклидами (*Veterinary..., 2006*). Особенно это актуально в настоящее время, когда загрязнение окружающей среды токсическими веществами постоянно растет, промышленные отравления случаются все чаще и увеличивается необходимость в предотвращении их последствий противотоксичными веществами (*Биологически..., 2001*).

К категории таких веществ относится зостерин – уникальный низкометоксилированный пектин из морской травы семейства *Zosteraceae*, полученный Тихоокеанским институтом биоорганической химии ДВО РАН (*Усов и др., 1988*).

В отличие от известных пектинов в состав боковых углеводных цепей зостерина входит углеводный остаток апиоза, обуславливающий его относительную устойчивость к действию внеклеточных ферментов, а низкая степень метоксилирования обеспечивает его высокие адсорбционные свойства и возможность

продолжительного применения (Мусеев, 1989). Зостерин является полидисперсным по молекулярной массе биополимером, что отражается на специфике его биологического действия и подтверждено данными по фармакокинетике препарата. Впервые зостерин привлек внимание как антидот при угрозе возникновения свинцовой интоксикации персонала свинцово-плавильных и горнообогатительных предприятий (Сгребнева и др., 2004; Ильин, 1997).

Зостерин – нетоксичный препарат, прошедший все необходимые исследования и испытания на эмбриотоксичность, терратогенность, мутагенность, фиброгенность и т. д., соответствующий требованиям гигиенической безопасности и разрешенный НИИ питания РАМН для использования в качестве лечебно-профилактической добавки к пищевым продуктам (Лоенко и др., 1997).

Зостерин обладает широким спектром действий, в частности, иммуномодулирующим, антиоксидантным, гепатопротекторным, противоязвенным, противовоспалительным, ранозаживляющим, желчегонным действием, укрепляет специфические и неспецифические факторы иммунитета организма, стимулирует репаративные процессы и т. д. Зостерин рекомендован в качестве оздоровительного средства при профилактике предраковых заболеваний. Практически не имеет противопоказаний и не дает отрицательных побочных эффектов (Кизеветтер и др., 1981). Кроме того, зостерин подавляет рост грамотрицательных и грамположительных бактерий: *Salmonella typhimurium*, *Escherichia coli*, *Yersinia pseudotuberculosis*, *Staphylococcus aureus*, *Pseudomonas aeruginosa* in vitro и in vivo и не оказывает бактерицидного действия на бифидумбактерии и лактобактерии (Zhu et al., 2021).

Таким образом, зостерин и производство продуктов питания функционального назначения с его использованием имеют огромный социальный эффект, направленный на оздоровление населения, продления его трудовой деятельности и общей продолжительности жизни. В технологическом плане зостерин можно использовать как структурообразователь.

Наибольший эффект для придания функциональных свойств продукту можно достичь при совместном введении зостерина и растительных наполнителей из местного плодово-ягодного сырья. В Амурской области культивируется достаточно плодово-ягодного сырья (груша, яблоко, вишня, облепиха, смородина, жимолость и др.), содержащего в своем составе широкий спектр биологически активных веществ, в том числе витаминов, микроэлементов, красящих и ароматизирующих веществ. Использование местного плодово-ягодного сырья позволяет расширить ассортимент функциональных продуктов и снизить расходы на его приобретение и доставку.

Цель работы – изучение влияния зостерина, используемого в качестве функционального ингредиента и структурообразующей добавки, а также ягодного наполнителя – источника биологически активных веществ, на качественные показатели творожного продукта и его хранимоспособность для создания творожных продуктов, обладающих защитными факторами и повышенной хранимоспособностью.

Материалы и методы

Объектами исследований являлись творог нежирный – как сырье для производства функционального творожного продукта с длительным сроком годности, а также творожный продукт, обогащенный функциональными ингредиентами, в качестве которых выступали пектин, выделяемый из морских трав семейства *Zosteraceae* – зостерин (ТУ 9379-054-02698170-2004, производство ТИБОХ ДВО РАН, г. Владивосток¹) и ягодный сок жимолости.

Зостерин является пищевым сырьем, не обозначен индексом "Е", соответствует требованиям технической документации и ТР ТС 021/2011 "О безопасности пищевой продукции". В зависимости от природных свойств препарата цвет от песочного до темно-бурого; хорошо растворим в горячей воде с образованием жидкого геля. Предварительная подготовка зостерина заключалась в его выдержке в семикратном количестве холодной воды для набухания в течение 30 мин и дальнейшем нагревании до полного растворения (но не кипячения). Раствор зостерина фильтруют через сетчатый фильтр или лавсановую ткань. Дозу пектина изменяли от 0,1 до 1,2 %.

В качестве плодово-ягодного наполнителя использовали продукты переработки жимолости. Массовую долю витамина С в жимолости определяли йодометрическим методом по Б. П. Плешкову, который основан на экстрагировании витамина С раствором кислот (смесью соляной и щавелевой) с последующим титрованием визуальным раствором йодата калия ($KIO_3 + KI$) в присутствии крахмала до установления сине-фиолетовой окраски.

Сахара в плодах жимолости определяли по ГОСТ 8756.13 "Продукты переработки плодов и овощей. Методы определения сахаров". Титруемую кислотность рассчитывали потенциометрическим титрованием водной вытяжки 0,1 н раствором NaOH с последующим пересчетом на яблочную кислоту по ГОСТ ISO

¹ Информация о нормативных актах и ГОСТах представлена в Приложении.

750-2013 "Продукты переработки плодов и овощей. Методы определения титруемой кислотности". Суммарное содержание антоцианов устанавливали согласно ГОСТ 32709 "Продукция соковая. Методы определения антоцианов – спектрофотометрическим методом в пересчете на цианидин-3-гликозид". ИК-спектры экстрактов флавоноидов проводили на ИК-Фурье спектрометре.

При изучении совместного влияния зостерина и ягодного наполнителя на физико-химические и органолептические показатели творожного продукта непосредственно после выработки и в процессе хранения использовались стандартные методы исследования (ГОСТ Р 54669-2011 "Молоко и продукты переработки молока. Методы определения кислотности"; ГОСТ Р 54668-2011 "Молоко и продукты переработки молока. Методы определения массовой доли влаги и сухого вещества"; ГОСТ Р 54667-2011 "Молоко и продукты переработки молока. Методы определения массовой доли сахаров"). Режимы термической обработки творога: температура – $72 \pm 2,5$ °С, выдержка – 180 ± 10 с.

Контролем являлся творожный продукт, выработанный без добавления зостерина и плодово-ягодного наполнителя.

Структурно-механические характеристики образцов творожного продукта определяли на ротационном вискозиметре Rheotest-2. Константы цилиндров составляли: I диапазон – 3,07 Па на ед. шкалы, II диапазон – 29,29 Па на ед. шкалы.

Результаты и обсуждение

Особый интерес представляло изучение перспектив использования в производстве функциональных продуктов на основе творога нетрадиционного растительного сырья – жимолости, обладающей высокими биологически активными свойствами. Жимолость лидирует по суммарному содержанию полифенольных антиоксидантов (антоцианины, флавоноиды, гидроксикоричные кислоты, проантоцианидины).

На Дальнем Востоке произрастают следующие виды жимолости – камчатская, съедобная, Турчанинова, Толмачева, раннецветущая, Глена, Максимовича, сахалинская, Шамиссо, горбатая, Рупрехта, Маака; они распространены в Приморье, на Сахалине. В Амурской области резкоконтинентальный климат, дикорастущая жимолость не встречается, однако здесь выращивают сортовую жимолость алтайской селекции.

В настоящее время селекционная работа по созданию новых сортов жимолости идет по пути увеличения устойчивости этой культуры к неблагоприятным климатическим условиям и увеличению в ягодах содержания флавоноидов и других биологически активных веществ (Зарицкий и др., 2023; Ефанов и др., 2021), таких как антоцианы, полифенольные соединения, витамины, микроэлементы, органические кислоты (Акимов, 2020).

Антоцианы разнообразны по строению, но основным антоцианом в ягодах жимолости является цианидин 3-гликозид (Chen et al., 2014). Ягоды жимолости благодаря содержанию в них полифенольных соединений проявляют антиоксидантную способность (Guo et al., 2023; Belyaeva et al., 2021), благоприятно влияют на метаболизм и снижают прибавку в весе (Biswas et al., 2018), обладают противовоспалительным и противораковым действием (Orsavova et al., 2022). Биологически активные соединения плодов жимолости обеспечивают устойчивость человека к старению, контроль ожирения, защищают организм от гипертонии и диабета, при этом обладают синергетическим эффектом (Kou et al., 2020).

Биохимические показатели ягод определяли в пяти сортах жимолости: Сибирячка, Бакчарский великан, Дочь великана, Бакчарская юбилейная (селекции ОГУП Бакчарское), Огненный опал (селекции ГНУ НИИ садоводства Сибири им. М. А. Лисавенко) (табл. 1).

Таблица 1. Биохимический состав ягод жимолости
Table 1. Biochemical composition of honeysuckle berries

Биохимические показатели Сорта жимолости	Сибирячка	Бакчарский великан	Дочь великана	Бакчарская юбилейная	Огненный опал	Среднее значение	Коэффициент вариативности, %
Содержание сахаров, %	11,8	11,5	10,1	12,0	12,5	$11,6 \pm 1,1$	7,8
Титруемая кислотность, % (в пересчете на яблочную кислоту)	0,8	0,7	0,6	1,1	1,2	$0,9 \pm 0,4$	29,4
Сахарокислотный индекс	14,8	16,4	16,8	10,9	10,4	$13,9 \pm 1,9$	21,9
Содержание антоцианов мг/100 г (в пересчете на цианидин-3-гликозид)	307,4	321,2	312,6	327,1	296,8	$313,0 \pm 4,2$	3,8
Витамин С, мг/100 г	52,9	70,4	51,3	57,1	53,3	$57,0 \pm 2,6$	13,7

По наибольшему содержанию сахаров можно выделить сорта Бакчарская юбилейная и Огненный опал. Среднее содержание сахаров в ягодах 11,6 %, вариативность признака 7,8 %, что свидетельствует о том, что это сортовой признак. Титруемая кислотность наиболее высокая в ягодах сортов Огненный опал и Бакчарская юбилейная. Вариативность признака высокая – 29,4 %, так как на накопление кислот влияют погодные условия и плодородие почв. В ягодах жимолости присутствуют органические кислоты – лимонная, яблочная, янтарная, винная, щавелевая (Orsavova et al., 2022). От соотношения в плодах сахара и органических кислот зависит их вкус. По вкусовым качествам наиболее сбалансированный вкус у ягод жимолости сортов Дочь великана и Бакчарский великан, что соответствует наибольшему сахарокислотному коэффициенту: 16,8 и 16,4 соответственно. Содержание сахаров в ягодах этих сортов не самое высокое, но содержание кислот – низкое. По содержанию антоцианов лидировал сорт Бакчарская юбилейная (327,1 мг/100 г). Содержание антоцианов в плодах жимолости селекционеров в Китае составило от 306,3 до 470,6 мг/100 г (Guo et al., 2023). Наибольшее содержание витамина С в ягодах сорта Бакчарский великан и составляет 70,4 мг/100 г (рис. 1). В других исследованных сортах содержание аскорбиновой кислоты в пределах от 51,3 до 57,1 мг/100 г.



Рис. 1. Фото жимолости сорт Бакчарский великан в период плодоношения (а) и цветения (б)
(фото автора)

Fig. 1. Photo of honeysuckle variety Bakcharsky giant during fruiting (a) and flowering (b).
Photo by the authors

Для двух сортов жимолости были выполнены ИК-спектры экстрактов флавоноидов (табл. 2). В ИК-спектрах флавоноидов в ягодах сортов Бакчарский великан и Огненный опал обнаружены валентные колебания карбонильной группы С=О, которые проявлялись интенсивными полосами поглощения в области 1736–1678 см⁻¹. Присутствующие в ИК-спектре полосы поглощения в области 1542–1460 см⁻¹ указывают на наличие связи С–С в ароматических кольцах.

В ИК-спектрах полосы поглощения в области 1375–1360 см⁻¹ соответствовали деформационным колебаниям групп С–Н симметричным, в области 1450–1375 см⁻¹ – антисимметричным. Ряд полос в интервале 1170–1065 см⁻¹ принадлежал валентным колебаниям связи С–О–С. Полоса поглощения средней интенсивности в области 1260–1201 см⁻¹ соответствовала валентным колебаниям С–ОН. Валентные колебания ароматических групп С–Н проявлялись полосами поглощения в области 2937 см⁻¹, деформационные колебания соответствовали 897–837 см⁻¹. ИК-спектры флавоноидов плодов жимолости сравнивали с ИК-спектром кверцетина (табл. 2). Таким образом, ягоды жимолости являются источником флавоноидов, строение которых идентифицировано методом ИК-спектроскопии.

Полученные результаты указывают на перспективность использования жимолости как источника биологически активных веществ в производстве творожного продукта функционального назначения.

Таблица 2. ИК-спектры флавоноидов в плодах жимолости, см^{-1}
 Table 2. IR spectra of flavonoids in honeysuckle fruits, см^{-1}

Функциональная группа	Характеристические частоты поглощения	Объект исследования		
		Бакчарский великан	Огненный опал	Кверцетин
$[\delta_s(\text{C-H})_{\text{Ar}}]$	900–650	856	839, 897	993, 812, 773
$[\nu_{s,as}(\text{C-O-C})]$	1 170–1 020	1 170, 1 135, 1 066	1 161, 1 137, 1 065	1 163, 1 118, 1 078, 1 020
$[\nu(\text{C-OH})_{\text{Ar}}]$	1 275–1 150	1 201	1 260	1 265
$[\delta_{s,as}(\text{C-H})]$	1 450–1 365	1 375	1 450, 1 389	1 450, 1 361
$[\nu(\text{C-C})_{\text{Ar}}]$	1 605–1 461	1 542, 1 546, 1 489, 1 460	1 549, 1 492	1 605, 1 497, 1 469
$[\nu(\text{C=O})_{\text{Ar}}]$	1 775–1 650	1 678, 1 682	1 736	1 730
$[\nu_{s,as}(\text{C-H})]$	3 000–2 828	2 900, 2 860	2 937, 2 854	2 930, 2 872
$[\nu(\text{C-H})_{\text{Ar}}]$	3 100–3 000	3 037, 3 023	3 028, 3 023	3 017

Учитывая компонентный состав разрабатываемого продукта, за основу была использована технология творога, технологический процесс производства которого включал следующие операции: приемка и оценка качества молока; очистка и охлаждение ($t = 4 \pm 2 \text{ }^\circ\text{C}$); подогрев молока и сепарирование ($t = 40 \pm 5 \text{ }^\circ\text{C}$); пастеризация обезжиренного молока ($t = 90 \pm 2 \text{ }^\circ\text{C}$, выдержка 30 с); охлаждение до температуры коагуляции ($t = 27 \pm 2 \text{ }^\circ\text{C}$) и коагуляция, сепарирование творожного сгустка при вышеназванной температуре. По выходу из сепаратора нежирного творога его загружали в рабочую емкость куттера-диспергатора "Штефан". Дозу зостерина варьировали от 0,1 до 1,2 %, ягодного сока жимолости – от 5 до 25 % от массы нежирного творога. Перемешивание осуществляли при температуре $t = 27 \pm 2 \text{ }^\circ\text{C}$ при скорости вращения ножей 3 000 об/мин в течение 180 ± 10 с. Затем смесь нежирного творога, зостерина и ягодного сока нагревали до температуры $72,5 \pm 2,5 \text{ }^\circ\text{C}$ в куттере-диспергаторе "Штефан" при скорости вращения ножей 3 000 об/мин в течение 10 мин. Количественное соотношение всех компонентов определялось посредством исследования структурно-механических свойств (вязкости и стабильности пены) творожной смеси с наполнителями после диспергирования при температуре $72,5 \pm 2,5 \text{ }^\circ\text{C}$ в куттере-диспергаторе "Штефан" при скорости вращения ножей 3 000 об/мин в течение 180 ± 10 с. Выбор оптимального соотношения ягодного сока, зостерина и молочно-белковой основы с точки зрения органолептических и ряда структурно-механических показателей приведен на примере ягодного сока жимолости и зостерина.

Влияние количества ягодного сока и зостерина на взбитость продукта и стабильность пены показано на рис. 2.

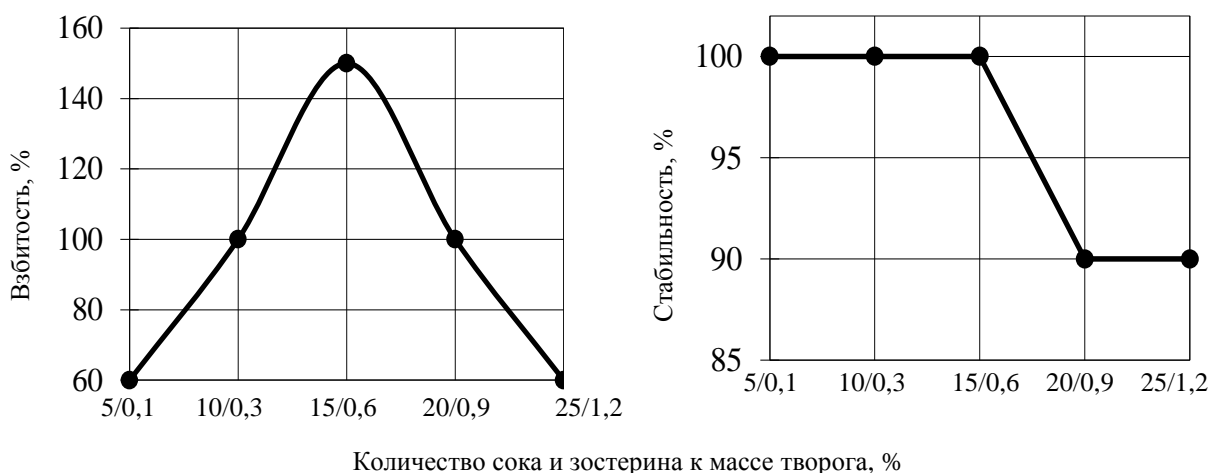


Рис. 2. Влияние количества сока и зостерина на взбитость продукта и стабильность пены
 Fig. 2. The influence of the amount of juice and zosterol on product overrun and foam stability

В результате проведенных исследований установлены дозы зостерина и сока жимолости – соответственно 0,6 и 15 % от массы нежирного творога. Готовый продукт имел хорошую пенообразующую способность и взбитость, густую однородную нежную консистенцию, кисломолочный вкус с достаточно выраженным привкусом и ароматом жимолости.

При температуре $72,5 \pm 2,5 \text{ }^\circ\text{C}$ продукт направляют на фасовку, упаковку и охлаждение до температуры $4 \pm 2 \text{ }^\circ\text{C}$.

Органолептические, физико-химические показатели готового продукта представлены в табл. 3 и 4. По микробиологическим показателям продукт соответствовал требованиям ТР ТС 033/2013 "О безопасности молока и молочной продукции", указанным в табл. 5.

Таблица 3. Органолептические показатели творожного продукта
Table 3. Organoleptic characteristics of the curd product

Показатель	Характеристика показателя
Внешний вид и консистенция	Однородная, нежная
Цвет	От светло-пурпурного до интенсивно пурпурного, равномерный по всей массе
Вкус и запах	Чистый кисломолочный, со свойственным внесенному соковому наполнителю привкусом и ароматом

Таблица 4. Физико-химические показатели творожного продукта
Table 4. Physical and chemical characteristics of the curd product

Показатель	Характеристика показателя
Массовая доля жира, %, не менее	–
Массовая доля влаги, %, не более	80
Массовая доля сахарозы, %, не менее	10
Активная кислотность, ед. рН	4,4

Таблица 5. Микробиологические показатели творожного продукта
Table 5. Microbiological characteristics of the curd product

Показатель		Нормативное значение показателя	Результаты исследований
Масса продукта (г), в которой не допускаются:	Патогенные микроорганизмы, в т. ч. сальмонеллы	25	Не обнаружены
	Стафилококки <i>S. aureus</i>	0,1	Не обнаружены
	БГКП (колиформы)	0,01	Не обнаружены
Дрожжи, КОЕ/г, не более		10	Не обнаружены
Плесени, КОЕ/г, не более		10	Не обнаружены

На основе физико-химического состава творожного продукта рассчитана пищевая и энергетическая ценность готового продукта – 116 ккал (485,7 кДж).

Таким образом, использование ягодных соков в производстве творожного продукта значительно повышает его пищевую ценность за счет введения биологически активных соединений: витаминов, макро- и микроэлементов, полифенольных соединений и др., введение зостерина обогащает продукт пектиновыми веществами, придает функциональные свойства, улучшает структуру, а его дозировка находится в интервале суточных норм потребления, рекомендуемых для профилактики ряда заболеваний.

Творог и творожные продукты относятся к скоропортящимся продуктам и требуют определенных условий хранения, обеспечивающих максимальное сохранение качества готового продукта и безопасности для потребителя. Исследование влияния введенных функциональных ингредиентов на хранимостепособность творожного продукта проводили при температуре 4 ± 2 °С. В качестве контроля был взят творог нежирный, выработанный по классической технологии. Временной интервал хранения продуктов составил 45 суток – с учетом коэффициента резерва для скоропортящихся продуктов 1,5 (шаг исследований 5 суток). Установлено, что в творожном продукте, выработанном с зостерином и ягодным соком, патогенные микроорганизмы, в том числе сальмонеллы в 25 г, *S. aureus* в 0,1 г и БГКП (колиформы) в 0,01 г готового продукта не были обнаружены в образцах в течение всего периода хранения. Показатели дрожжей и плесеней отвечали требованиям ТР ТС 033/2013 "О безопасности молока и молочной продукции". Введение зостерина в рецептуру творожного продукта позволяет затормозить нежелательные процессы в нем, и, следовательно, продлить сроки годности.

В контрольном образце по истечении 5 суток хранения БГКП (колиформы) незначительно увеличилось, а концу 10 суток их количество увеличилось в 10 раз. Также превысило нормативное значение количество дрожжей и плесеней в 8–9 раз. В дальнейшем контрольные образцы были сняты с контроля.

Органолептические показатели творожного продукта, выработанного с зостерином и ягодным соком, в течение 30 суток не изменялись и были оценены в 20 баллов. Дальнейшее хранение приводило к незначительному ухудшению консистенции и вкуса.

Органолептические показатели контрольного образца снизились на 2 балла по истечении 10 суток. Активная кислотность в процессе хранения не изменялась и составляла $4,4 \pm 0,03$ ед. рН.

Содержание токсичных элементов, микотоксинов, антибиотиков, пестицидов и радионуклидов в творожном продукте не превышало допустимые уровни, установленные в ТР ТС 021/2011 "О безопасности пищевой продукции" (Решетник и др., 2021).

Полученные результаты исследований доказывают высокую хранимоспособность разработанного творожного продукта.

Заключение

Медико-биологическими исследованиями установлено, что в питании основной части населения России и Дальнего Востока, в частности, имеются серьезные нарушения, связанные с несбалансированностью рационов, сниженным содержанием белка, витаминов, минеральных веществ, пищевых волокон.

Растет заболеваемость всех групп населения. Она обусловлена не только несбалансированностью питания, но и во многом экологическими факторами. В связи с этим приобретает острую необходимость создание полноценных продуктов питания, в состав которых входят функциональные ингредиенты, благоприятно воздействующие на органы и системы организма человека. Кроме того, такие продукты должны быть не только вкусными и полезными, но и доступными и с точки зрения сырьевых ресурсов, и с точки зрения их стоимости для широкого круга потребителей, включая малообеспеченных.

Разнообразные социологические исследования подтверждают, что особой популярностью у населения, как у взрослых, так и у детей, пользуются творожные продукты.

Природа дальневосточных лесных массивов богата различными ягодными культурами, которые являются источниками многих биологически важных компонентов питания. На территории Амурской области ягодное сырье культивируется широко и в плодopитомниках, и на личных приусадебных участках. Идентифицированным методом ИК-спектроскопии изучены спектры экстрактов флавоноидов. Доказано, что ягоды жимолости являются источником флавоноидов, витаминов, тем самым подтверждена перспективность использования жимолости в технологии функционального продукта.

Полезные свойства пектина известны давно. Показано применение полисахарида "Зостерин", воздействующего на организм одновременно как энтеросорбент, гемосорбент и иммуномодулятор. В пищевых технологиях он выступает как стабилизатор. Учитывая профилактические и технологические свойства зостерина, доказана целесообразность его использования в производстве стойких в хранении творожных продуктов.

В рамках проведенных исследований были сформированы технологические подходы и обоснован компонентный состав творожного продукта с зостерином и растительным наполнителем из местного ягодного сырья (сок жимолости). Наиболее важной особенностью выработки такого продукта явилось установление соотношения зостерина и сока жимолости по отношению к массе творога, от которого зависят органолептические, структурно-механические, физико-химические показатели готовой продукции.

Изучая механизм превращения исходных компонентов в структурированную систему по ходу технологической обработки, установили влияние технологических факторов температуры термизации, доз пектина и сока жимолости на качественные показатели готового продукта. Установлены дозы зостерина и сока жимолости – соответственно 0,6 и 15 % от массы нежирного творога. Готовый продукт имел хорошую пенообразующую способность и взбитость, гомогенную, нежную консистенцию, приятный кисломолочный вкус с достаточно выраженным привкусом и ароматом ягодного наполнителя.

Разработана технологическая схема производства творожного продукта, определены показатели качества (органолептические, физико-химические, микробиологические, структурно-механические), пищевая и энергетическая ценность.

Доказана высокая хранимоспособность разработанного продукта в течение 30 суток при температуре 4 ± 2 °С.

Учитывая всевозрастающие запросы потребителей в отношении натуральности пищевых продуктов, добавки на основе местного плодово-ягодного сырья просто незаменимы в производстве здоровых продуктов питания, отвечающих современным требованиям науки о питании. Совместное введение пектина дает наивысший эффект полезности продукта.

Производство новых функциональных продуктов не требует дополнительных затрат на аппаратное оформление технологического процесса, а применение различных ягодных наполнителей и их композиций из местных дикорастущих и культурных видов растений дает возможность расширять и обновлять ассортимент, создавая функциональные продукты с оригинальным вкусом, ароматом и цветовой гаммой.

Библиографический список

- Абдуллина Р. Г., Пупыкина К. А., Балометова Р. Г. Биохимический состав плодов *Lonicera Caerulea* L. и ее подвидов при интродукции в условиях Башкирского Предуралья // Химия растительного сырья. 2022. № 3. С. 203–210. DOI: <https://doi.org/10.14258/jcprm.20220310885>. EDN: IBJCYA.
- Акимов М. Ю. Новые селекционно-технологические критерии оценки плодовой и ягодной продукции для индустрии здорового и диетического питания // Вопросы питания. 2020. Т. 89, № 4. С. 244–254. DOI: 10.24411/0042-8833-2020-10057. EDN: ZDWZMY.
- Биологически активные добавки к пище и проблемы здоровья семьи // материалы V междунар. симпозиума 27–29 июня 2001 г., г. Красноярск, 2001. 312 с.
- Ефанов В. Н., Митусова Е. В. Урожайность, хозяйственно-ценные показатели и химический состав жимолости голубой в условиях муссонного климата Сахалина // Вестник Камчатского государственного технического университета. 2021. № 56. С. 64–73. DOI: <https://doi.org/10.17217/2079-0333-2021-56-64-73>. EDN: HSDGCD.
- Зарицкий А. В., Пакусина А. П., Платонова Т. П. Биологические особенности и химический состав ягод сортов и гибридов жимолости селекции Дальневосточного ГАУ // Дальневосточный аграрный вестник. 2023. Т. 17, № 2. С. 13–21. DOI: 10.22450/19996837_2023_2_13. EDN: XVZRMU.
- Захарова Л. М., Никифорова Е. А. Исследование и разработка технологии творожного продукта с лечебно-профилактическими свойствами // Актуальная биотехнология. 2014. № 2(9). С. 27–32. EDN: SJXGJJ.
- Ильин В. Б. Мониторинг тяжелых металлов применительно к крупным промышленным городам // Агрехимия. 1997. № 4. С. 81–86.
- Кизеветтер И. В., Суховеева М. В., Шмелькова Л. П. Промысловые морские водоросли и травы дальневосточных морей. М. : Пищ. пром-сть, 1981. 113 с.
- Лоенко Ю. Н., Артюков А. А., Козловская Э. П., Мирошниченко В. А. [и др.]. Зостерин / под ред. Г. Б. Елякова. Владивосток : Дальнаука, 1997. 211 с.
- Моисеев П. А. Биологические ресурсы Мирового океана. М. : Агропромиздат, 1989. 366 с.
- Решетник Е. И., Грибанова С. Л., Ли Ю., Ли Ч. Рациональное использование сырья в производстве напитков для функционального питания // Актуальные научно-технические средства и сельскохозяйственные проблемы : сб. ст. VI Национальной науч.-практ. конф., Кемерово, 24–25 июня 2021 г. Кемерово : КГСХА. С. 346–349. EDN: IJZMXG.
- Решетник Е. И., Максимюк В. А., Уточкина Е. А. Влияние функционально-технологических свойств зернового компонента на качественные показатели творожного продукта // Техника и технология пищевых производств. 2013. № 4(31). С. 74–77. EDN: RNIENJ.
- Сгребнева М. Н., Тюпелев П. А., Хасина Э. И. Влияние пектина зостерина на метаболизм в печени в условиях свинцовой интоксикации // Микроэлементы в медицине. 2004. Т. 5, вып. 4. С. 124–126.
- Усов А. И., Чижов О. С. Химические исследования водорослей : редакционные приложения. М. : Знание, 1988. 44 с.
- Belyaeva O. V., Sergeeva I. Yu., Belyaeva E. E., Chernobrovkina E. V. Study of antioxidant activity of juices and beverages from blue honeysuckle and black chokeberry // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2021. Vol. 640. Article number: 052008. DOI: <https://doi.org/10.1088/1755-1315/640/5/052008>.
- Biswas D., Sarkar S., De Silva A. B. K. H., D'Souza K. [et al.]. 164-Cyanidin-3-O-Glucoside rich extract from Haskap berry improves glucose homeostasis and insulin sensitivity in diet-induced obese mice // Canadian Journal of Diabetes. 2018. Vol. 42, Iss. 5. P. S55. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.cjcd.2018.08.169>.
- Chen L., Xin X., Lan R., Yuan Q. [et al.]. Isolation of cyanidin 3-glucoside from blue honeysuckle fruits by high-speed counter-current chromatography // Food Chemistry. 2014. Vol. 152. P. 386–390. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2013.11.080>.
- Guo L., Qiao J., Gong C., Wei J. [et al.]. C3G quantified method verification and quantified in blue honeysuckle (*Lonicera caerulea* L.) using HPLC–DAD // Heliyon. 2023. Vol. 9, Iss. 4. Article number: e14685. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e14685>.
- Kou P., Wan N., Wang L.-T., Pan H.-Y. [et al.]. A sustainable and efficient preparation process of anthocyanins from blue honeysuckle fruit and comprehensive bioactivity assessment // Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineers. 2020. Vol. 116. P. 3–10. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jtice.2020.10.029>.
- Orsavová J., Sytařová I., Mlček J., Mišurcová L. Phenolic compounds, vitamins C and E and antioxidant activity of edible honeysuckle berries (*Lonicera caerulea* L. var. *kamtschatica* Pojark) in relation to their origin // Antioxidants. 2022. Vol. 11, Iss. 2. Article number: 433. DOI: <https://doi.org/10.3390/antiox11020433>.
- Veterinary herbal medicine / eds.: S. G. Wynn, B. Fougere. St.-Louis, USA, 2006. DOI: <https://doi.org/10.1016/b978-0-323-02998-8.x5001-x>.
- Zhu X., Healy L., Zhang Z., Maguire J. [et al.]. Novel postharvest processing strategies for value-added applications of marine algae // Journal of the Science of Food and Agriculture. 2021. Vol. 101, Iss. 11. P. 4444–4455. DOI: <https://doi.org/10.1002/jsfa.11166>.

References

- Abdullina, R. G., Pupykina, K. A., Balametova, R. G. 2022. Biochemical composition of fruits of *Lonicera Caerulea* L. and its subspecies during introduction in the conditions of the Bashkir Urals. *Khimiya Rastitelnogo Syrya*, 3, pp. 203–210. DOI: <https://doi.org/10.14258/jcprm.20220310885>. EDN: IBJCYA. (In Russ.)
- Akimov, M. Yu. 2020. New selection and technological criteria for evaluating fruit and berry products for the industry of healthy and dietary nutrition. *Problems of Nutrition*, 89(4), pp. 244–254. DOI: 10.24411/0042-8833-2020-10057. EDN: ZDWZMY. (In Russ.)
- Biologically active food additives and family health problems. 2001. Proceedings of the V Intern. Symposium on 27–29 June, 2001, Krasnoyarsk. (In Russ.)
- Efanov, V. N., Mitusova, E. V. 2021. Productivity, economically valuable indicators and chemical composition of blue honeysuckle in the conditions of the monsoon climate of Sakhalin. *Bulletin of Kamchatka State Technical University*, 56, pp. 64–73. DOI: <https://doi.org/10.17217/2079-0333-2021-56-64-73>. EDN: HSDGCD. (In Russ.)
- Zaritsky, A. V., Pakusina, A. P., Platonova, T. P. 2023. Biological features and chemical composition of berries of varieties and hybrids of honeysuckle breeding of the Far Eastern State Agrarian University. *Far Eastern Agrarian Bulletin*, 17(2), pp. 13–21. DOI: 10.22450/19996837_2023_2_13. EDN: XVZRMU. (In Russ.)
- Zakharova, L. M., Nikiforova, E. A. 2014. Research and development of the technology of a curd product with therapeutic and prophylactic properties. *Topical Biotechnology*, 2(9), pp. 27–32. EDN: SJXGJJ. (In Russ.)
- Ilyin, V. B. 1997. Monitoring of heavy metals in relation to large industrial cities. *Agrokhimiya*, 4, pp. 81–86. (In Russ.)
- Kizevetter, I. V., Sukhoveeva, M. V., Shmelkova, L. P. 1981. Commercial seaweed and herbs of the Far Eastern seas. Moscow. (In Russ.)
- Loenko, Yu. N., Artyukov, A. A., Kozlovskaya, E. P., Miroshnichenko, V. A. et al. 1997. Zosterin. Ed. G. B. Elyakov. Vladivostok. (In Russ.)
- Moiseev, P. A. 1989. Biological resources of the World Ocean. Moscow. (In Russ.)
- Reshetnik, E. I., Griбанова, S. L., Li, Y., Li, Ch. 2021. Rational use of raw materials in the production of drinks for functional nutrition. Coll. of articles VI National Scientific and Practical Conference: *Current scientific and technical means and agricultural problems*. Kemerovo, 24–25 June, 2021. Kemerovo, pp. 346–349. EDN: IJZMXG. (In Russ.)
- Reshetnik, E. I., Maksimyyuk, V. A., Utochkina, E. A. 2013. Influence of functional and technological properties of the grain component on the quality indicators of the curd product. *Food Processing: Techniques and Technology*, 4(31), pp. 74–77. EDN: RNIENJ. (In Russ.)
- Sgrebneva, M. N., Tyupelev, P. A., Khasina, E. I. 2004. The effect of pectin zosterol on liver metabolism under conditions of lead intoxication. *Microelements in Medicine*, 5(4), pp. 124–126. (In Russ.)
- Usov, A. I., Chizhov, O. S. 1988. Chemical studies of algae. Moscow. (In Russ.)
- Belyaeva, O. V., Sergeeva, I. Yu., Belyaeva, E. E., Chernobrovkina, E. V. 2021. Study of antioxidant activity of juices and beverages from blue honeysuckle and black chokeberry. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. Vol. 640. Article number: 052008. DOI: <https://doi.org/10.1088/1755-1315/640/5/052008>.
- Biswas, D., Sarkar, S., De Silva, A. B. K. H., D'Souza, K. et al. 2018. 164-Cyanidin-3-O-Glucoside rich extract from Haskap berry improves glucose homeostasis and insulin sensitivity in diet-induced obese mice. *Canadian Journal of Diabetes*, 42(5), pp. S55. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.cjcd.2018.08.169>.
- Chen, L., Xin, X., Lan, R., Yuan, Q. et al. 2014. Isolation of cyanidin 3-glucoside from blue honeysuckle fruits by high-speed counter-current chromatography. *Food Chemistry*, 152, pp. 386–390. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2013.11.080>.
- Guo, L., Qiao, J., Gong, C., Wei, J. et al. 2023. C3G quantified method verification and quantified in blue honeysuckle (*Lonicera caerulea* L.) using HPLC–DAD. *Heliyon*, 9(4). Article number: e14685. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e14685>.
- Kou, P., Wan, N., Wang, L.-T., Pan, H.-Y. et al. 2020. A sustainable and efficient preparation process of anthocyanins from blue honeysuckle fruit and comprehensive bioactivity assessment. *Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineers*, 116, pp. 3–10. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jtice.2020.10.029>.
- Orsavová, J., Sytařová, I., Mlček, J., Mišurcová, L. 2022. Phenolic compounds, vitamins C and E and antioxidant activity of edible honeysuckle berries (*Lonicera caerulea* L. var. *kamtschatica* Pojark) in relation to their origin. *Antioxidants*, 11(2). Article number: 433. DOI: <https://doi.org/10.3390/antiox11020433>.
- Veterinary herbal medicine. 2006. Eds.: S. G. Wynn, B. Fougere. St.-Louis, USA. DOI: <https://doi.org/10.1016/b978-0-323-02998-8.x5001-x>.
- Zhu, X., Healy, L., Zhang, Z., Maguire, J. et al. 2021. Novel postharvest processing strategies for value-added applications of marine algae. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 101(11), pp. 4444–4455. DOI: <https://doi.org/10.1002/jsfa.11166>.

Сведения об авторах

Пакулина Антонина Павловна – ул. Политехническая, 86, г. Благовещенск, Россия, 675009;
Дальневосточный государственный аграрный университет, д-р хим. наук, профессор;
e-mail: pakusina.a@yandex.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5547-3444>

Antonina P. Pakusina – 86 Politekhnikeskaya Str., Blagoveshchensk, Russia, 675009;
Far Eastern State Agrarian University, Dr Sci. (Chemistry), Professor;
e-mail: pakusina.a@yandex.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5547-3444>

Захарова Людмила Михайловна – ул. Политехническая, 86, г. Благовещенск, Россия, 675009;
Дальневосточный государственный аграрный университет, д-р техн. наук, профессор;
e-mail: zaharova_lm@mail.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8688-051X>

Lyudmila M. Zakharova – 86 Politekhnikeskaya Str., Blagoveshchensk, Russia, 675009;
Far Eastern State Agrarian University, Dr Sci. (Engineering), Professor;
e-mail: zaharova_lm@mail.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8688-051X>

Пашина Любовь Леонидовна – ул. Политехническая, 86, г. Благовещенск, Россия, 675009;
Дальневосточный государственный аграрный университет, д-р экон. наук, профессор;
e-mail: pashinall@mail.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7991-5793>

Lyubov L. Pashina – 86 Politekhnikeskaya Str., Blagoveshchensk, Russia, 675009;
Far Eastern State Agrarian University, Dr Sci. (Economics), Professor;
e-mail: pashinall@mail.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7991-5793>

Бабухадия Кетеван Рубеновна – ул. Политехническая, 86, г. Благовещенск, Россия, 675009;
Дальневосточный государственный аграрный университет, д-р с.-х. наук, доцент;
e-mail: kabukhadiya@mail.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8137-7376>

Ketevan R. Babukhadiya – 86 Politekhnikeskaya Str., Blagoveshchensk, Russia, 675009;
Far Eastern State Agrarian University, Dr Sci. (Agriculture), Associate Professor;
e-mail: kabukhadiya@mail.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8137-7376>

Школьников Павел Николаевич – ул. Политехническая, 86, г. Благовещенск, Россия, 675009;
Дальневосточный государственный аграрный университет, д-р техн. наук, доцент;
e-mail: pavel.shkolnikov@mail.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3587-3082>

Pavel N. Shkolnikov – 86 Politekhnikeskaya Str., Blagoveshchensk, Russia, 675009;
Far Eastern State Agrarian University, Dr Sci. (Engineering), Associate Professor;
e-mail: pavel.shkolnikov@mail.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3587-3082>

Нормативные документы, использованные в статье

ГОСТ 32709-2014	Продукция соковая. Методы определения антоцианов спектрофотометрическим методом в пересчете на цианидин-3-гликозид. URL: https://docs.cntd.ru/document/1200111757 .
ГОСТ 8756.13-87	Продукты переработки плодов и овощей. Методы определения сахаров. URL: https://docs.cntd.ru/document/1200022639 .
ГОСТ ISO 750-2013	Продукты переработки плодов и овощей. Методы определения титруемой кислотности. URL: https://docs.cntd.ru/document/1200106941 .
ГОСТ Р 54667-2011	Молоко и продукты переработки молока. Методы определения массовой доли сахаров. М., 2012.
ГОСТ Р 54668-2011	Молоко и продукты переработки молока. Методы определения массовой доли влаги и сухого вещества. М., 2013.
ГОСТ Р 54669-2011	Молоко и продукты переработки молока. Методы определения кислотности. М., 2012.
ТР ТС 033/2013	Технический регламент Таможенного союза "О безопасности молока и молочной продукции", утвержден решением Комиссии Таможенного союза от 9 октября 2013 г. № 67 ТР ТС 033/2013. URL: https://docs.cntd.ru/document/499050562 .
ТР ТС 021/2011	Технический регламент Таможенного союза "О безопасности пищевой продукции", утвержден решением Комиссии Таможенного союза от 9 декабря 2011 г. № 880 ТР ТС 021/2011. URL: https://docs.cntd.ru/document/902320560 .
ТР ТС 029/2012	Технический регламент Таможенного союза "Требования безопасности пищевых добавок, ароматизаторов и технологически вспомогательных веществ", принят Решением Совета Евразийской экономической комиссии от 20 июля 2012 года № 58 ТР ТС 029/2012. URL: https://docs.cntd.ru/document/902359401 .
ТУ 9379-054-02698170-2004	Биологически активная добавка к пище "Зостерин". URL: https://docs.cntd.ru/document/415938359 .

УДК 664.681

Повышение пищевой ценности кексов и оценка их качества

Е. И. Пономарева*, Н. Н. Федорченко,
С. И. Лукина, Н. Н. Алехина, Л. А. Никитина

**Воронежский государственный университет инженерных технологий, г. Воронеж, Россия;*
e-mail: elena6815@eandex.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0023-2310-2838>

Информация о статье Реферат

Поступила
в редакцию
01.04.2024;

получена
после доработки
22.04.2024;

принята
к публикации
14.05.2024

Ключевые слова:

нетрадиционное сырье, химический состав, кексы, показатели качества, пищевая ценность

Использование в производстве мучных кондитерских изделий нетрадиционных видов сырья позволяет повысить пищевую ценность продукции и обогатить ее полезными нутриентами (белками, пищевыми волокнами, витаминами, минеральными веществами). В ходе исследования применялись органолептические, химические, микробиологические, биохимические методы анализа сырья, полуфабрикатов и изделий для определения химического состава и расчета пищевой ценности предлагаемых кексов. Частичная замена муки пшеничной хлебопекарной высшего сорта в рецептуре кекса "Столичный" (ГОСТ 15052-2014) на муку из косточковых плодов (гранатовых и абрикосовых косточек) и муку пшеничную хлебопекарную обойную цельнозерновую, а также введение патоки высокосахаренной, масла подсолнечного с добавлением оливкового способствуют улучшению органолептических и физико-химических показателей изделий, повышению их функциональности и не приводят к ухудшению микробиологических характеристик. Употребление 100 г разработанных обогащенных изделий обеспечивает степень удовлетворения суточной потребности в белке на 19 %, жире – 8, углеводах – 14, пищевых волокнах – 28, минеральных веществах – 6–30, витаминах – на 6–39 %. Результаты исследования будут способствовать расширению ассортимента обогащенных кексов повышенной пищевой ценности при применении традиционного и нетрадиционного сырья, обеспечивающего безопасность питания и ресурсосбережение.

Для цитирования

Пономарева Е. И. и др. Повышение пищевой ценности кексов и оценка их качества. Вестник МГТУ. 2024. Т. 27, № 3. С. 385–399. DOI: <https://doi.org/10.21443/1560-9278-2024-27-3-385-399>.

Increasing the nutritional value of cupcakes and evaluating their quality

Elena I. Ponomareva*, Nina N. Fedorchenko,
Svetlana I. Lukina, Nadezhda N. Alyokhina, Lilia A. Nikitina

**Voronezh State University of Engineering Technologies, Voronezh, Russia;*
e-mail: elena6815@eandex.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0023-2310-2838>

Article info

Received
01.04.2024;

received
in revised
22.04.2024;

accepted
14.05.2024

Key words:

non-traditional raw materials, chemical composition, cupcakes, quality indicators, nutritional value

Abstract

The use of non-traditional types of raw materials in the production of flour confectionery products makes it possible to increase the nutritional value of products and enrich them with useful nutrients (proteins, dietary fiber, vitamins, and minerals). During the study, organoleptic, chemical, microbiological, and biochemical methods of analysis of raw materials, semi-finished products and products were used to determine the chemical composition and calculate the nutritional value of the proposed cupcakes. Partial replacement of premium-grade wheat flour in the recipe for the Stolichny cake with stone fruit flour (pomegranate and apricot kernels) and whole-grain wallpaper wheat flour, as well as the introduction of highly sugared molasses, sunflower oil with the addition of olive oil, contribute to the improvement organoleptic and physicochemical characteristics of products, increase their functionality and do not lead to a deterioration in microbiological characteristics. Consumption of 100 g of developed fortified products ensures the degree of satisfaction of the daily requirement for protein by 19 %, fat – 8, carbohydrates – 14, dietary fiber – 28, minerals – 6–30, vitamins – 6–39 %. The results of the study will contribute to expanding the range of enriched muffins with increased nutritional value using traditional and non-traditional raw materials that ensure food safety and resource conservation.

For citation

Ponomareva, E. I. et al. 2024. Increasing the nutritional value of cupcakes and evaluating their quality. *Vestnik of MSTU*, 27(3), pp. 385–399. (In Russ.) DOI: <https://doi.org/10.21443/1560-9278-2024-27-3-385-399>.

Введение

Различные виды кексов являются продукцией повседневного спроса, однако большинство мучных кондитерских изделий характеризуется низкой пищевой ценностью и высокой сахаремкостью. В настоящее время актуальными разработками являются технологии мучных кондитерских изделий (различных видов печенья, кексов, пряников, бисквита) с применением нетрадиционного сырья, позволяющего придать изделиям функциональную направленность, что согласуется со стратегическими целями государственной политики России о здоровом и безопасном питании (распоряжение Правительства РФ "Об утверждении Стратегии повышения качества пищевой продукции в Российской Федерации до 2030 г."; приказ Минздрава РФ "Об утверждении Стратегии формирования здорового образа жизни населения, профилактики и контроля неинфекционных заболеваний на период до 2025 г."; постановление Президиума РАН "Об актуальных проблемах оптимизации питания населения России: роль науки")¹.

Введение в рецептуру кексов обогатителей, химический состав которых включает пищевые волокна, витамины, макро- и микроэлементы, способствует получению готовых изделий с полезными нутриентами, повышению их пищевой ценности и функциональности. Разработка таких изделий – одно из направлений инновационного развития пищевых технологий, связанного с поиском новых источников сырья, способных обогащать продукты эссенциальными нутриентами (Магомедов и др., 2012; Лобосова и др., 2020; Плотникова и др., 2019; Жаркова и др., 2019).

Известна возможность использования свекловичных пищевых волокон в производстве кексов. При внесении обогатителей в количестве 5 % изготавливаются изделия с более выраженным вкусом, ароматом и насыщенным цветом, а также улучшенными физико-химическими свойствами (Тарасенко и др., 2016). Рецептура кекса с пониженным содержанием глютена включает композитную смесь из кукурузной и рисовой муки в соотношении 1 : 1 или композитную смесь из кукурузной и тыквенной муки в соотношении 1 : 1. В результате исследований получено изделие повышенной пищевой ценности, что позволило расширить ассортимент безглютеновой продукции, характеризующейся высокими органолептическими показателями (Ушакова и др., 2020).

Предложенный способ производства кексов функционального назначения предусматривает смешивание муки из семян чиа, яйца куриного, тростникового сахара нерафинированного, фруктового сока и разрыхлителя. Этот способ позволяет повысить качество кексов, а также расширить ассортимент функциональных мучных кондитерских изделий улучшенного состава (Егорова и др., 2018). В разработанной смеси для кексов профилактического назначения содержатся мука пшеничная, мука льняная в соотношении 1 : 12, сахар белый, меланж, аммоний углекислый, соль пищевая и функциональная добавка, состоящая из смеси аскорбиновой кислоты, порошков из гранатовых косточек и корневищ девясила, взятых в соотношении 1 : 15 : 20. Внесение предлагаемой смеси способствует получению пищевого продукта с повышенным содержанием функциональных микронутриентов, низкой калорийностью и улучшенными структурно-механическими свойствами (Функциональная смесь..., 2013).

В ходе исследования возможности использования муки тритикале и порошка шиповника в качестве частичной замены пшеничной хлебопекарной муки высшего сорта в рецептуре кекса "Столичный" установлены их оптимальные дозировки в количестве 70 и 6 % соответственно, обеспечивающие наилучшие показатели качества готового изделия (Бадамышина и др., 2018). При замене стандартного масла в рецептуре кексов на масло подсолнечное рафинированное возможно получение изделий со сроком годности 6 месяцев, отличающихся повышенной пищевой ценностью и характеризующихся улучшенными органолептическими и физико-химическими показателями (González-Rámila et al., 2022).

Введение нетрадиционного сырья – волокон из пшеницы, овса и ячменя – способствует повышению пищевой ценности изделий, формированию более мягкой текстуры мякиша. Кексы, хранящиеся в полиэтиленовых пакетах в течение 6 дней, показывают замедленную потерю влаги и меньшую черствость в сравнении с контрольным образцом (Lebesi et al., 2011). В ходе экспериментов изучена возможность обогащения кексов кукурузной мукой, измельченным зеленым чаем, овсом, арахисом и выявлено, что внесение обогатителей улучшает пористость, увеличивает удельный объем изделий (Jeyanthi Rebecca et al., 2016).

Целями настоящей работы являются повышение пищевой ценности кекса "Столичный", изготавливаемого из муки пшеничной хлебопекарной высшего сорта, и определение влияния замены ингредиентов в его рецептуре нетрадиционными видами сырья на показатели качества теста и готового изделия.

¹ См.: Распоряжение Правительства РФ от 29.06.2016 № 1364-р "Об утверждении Стратегии повышения качества пищевой продукции в Российской Федерации до 2030 года". URL: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_200636/; Приказ Минздрава РФ от 15.01.2020 г. № 8 "Об утверждении Стратегии формирования здорового образа жизни населения, профилактики и контроля неинфекционных заболеваний на период до 2025 года". URL: <https://docs.cntd.ru/document/564215449>; Постановление Президиума РАН № 178 от 27.11.2018 г. "Об актуальных проблемах оптимизации питания населения России: роль науки". URL: <https://www.ras.ru/presidium/documents/directions.aspx?ID=ba975c30-3182-4770-aff8-5601f6042ff5>.

Материалы и методы

В качестве сырья применяли муку пшеничную хлебопекарную высшего сорта (ГОСТ 26574-2017), муку пшеничную хлебопекарную обойную цельнозерновую (ГОСТ 26574-2017), муку из косточковых плодов (гранатовых и абрикосовых косточек) (ТУ 10.86.10-578-02068108-2022²), масло сливочное (ГОСТ 32261-2013), масло подсолнечное с добавлением оливкового (ГОСТ 1129-2013), сахар белый (ГОСТ 33222-2015), патоку высокосахаренную (ГОСТ Р 55316-2012), гидрокарбонат натрия (ГОСТ 2156-76), уксус столовый (ГОСТ Р 56968-2016), соль пищевую (ГОСТ Р 51574-2018), яйцо куриное пищевое (ГОСТ 31654-2012), виноград сушеный (ГОСТ 6882-88).

В процессе исследования использовались:

– контрольный образец 1 – кекс "Столичный" из муки пшеничной хлебопекарной высшего сорта (ГОСТ 15052-2014)³;

– опытный образец 2 – кекс "Абелия", в рецептуре которого часть муки пшеничной хлебопекарной высшего сорта (20 %) заменена мукой пшеничной хлебопекарной обойной цельнозерновой и мукой из гранатовых косточек (ТУ 10.72.12-582-02068108-2023⁴);

– опытный образец 3 – кекс "Илекс", в рецептуре которого часть муки пшеничной хлебопекарной высшего сорта (20 %) заменена мукой пшеничной хлебопекарной обойной цельнозерновой и мукой из абрикосовых косточек (в соотношении 30 : 70) (ТУ 10.72.12-583-02068108-2023⁵).

В опытных образцах произведена замена сахара белого, предусмотренного по рецептуре, на патоку высокосахаренную, масло сливочное – на масло подсолнечное с добавлением оливкового (замена по сухим веществам и на основании действующих норм взаимозаменяемости сырья).

В ходе исследования замешивали тесто влажностью 28 %, затем формовали тестовые заготовки массой 0,06 кг, раскладывали их в формы и выпекали в конвекционной печи КЭП-10П при температуре пекарной камеры 180–185 °С в течение 18–20 мин.

Анализ химического состава сырья осуществляли по следующим методикам:

1) аминокислотный состав белка – методом ионообменной хроматографии на автоматическом аминокислотном анализаторе ААА Т-339 (Mikrotechna, Чехия);

2) количество триптофана – методом ионнообменной хроматографии (ГОСТ 32201-2013);

3) содержание белка – по ГОСТ 10846-91; водорастворимых углеводов – перманганатным методом Бертрана; жира – ГОСТ 32905-2014, пищевых волокон – ГОСТ 34844-2022;

4) минеральный состав (калий, кальций, магний, фосфор, железо, цинк, селен) – по ГОСТ 32343-2013, ГОСТ 26657-97, ГОСТ Р 55449-2013;

5) витаминный состав (тиамин, рибофлавин, пантотеновая кислота, пиридоксин, никотиновая кислота, токоферол) – по ГОСТ 29138-91, ГОСТ 29139-91, ГОСТ 31483-2012, ГОСТ 53494-2009, ГОСТ 29140-91, ГОСТ Р 54634-2011 (Пономарева и др., 2018).

Объемную массу теста исследовали волюмометрическим методом (Лакиза, 2015).

В готовых изделиях органолептические показатели (форму, цвет, поверхность, структуру, вкус, запах) определяли по ГОСТ 5897-90. Для анализа результатов исследуемых показателей использовали профильный метод и балловую оценку качества готовых изделий.

Физико-химические показатели кексов анализировали следующим образом: влажность – по ГОСТ 5900-2014; щелочность – ГОСТ 5898-2022; удельный объем – волюмометрическим методом (Лакиза, 2015), суммарное содержание антиоксидантов – с помощью анализатора "ЦветЯуза-01-АА" (НПО "Химвавтоматика", Россия). Микрофлору кексов анализировали по количеству мезофильных аэробных и факультативно-анаэробных микроорганизмов (КМАФАнМ) по ГОСТ 10444.15-94, наличие плесени, дрожжей – по ГОСТ 10444.12-88.

Пищевую и энергетическую ценность изделий, степень покрытия суточной потребности в нутриентах рассчитывали по программе "Комплекс", разработанной на кафедре технологии хлебопекарного, кондитерского, макаронного и зерноперерабатывающего производств (ТХКМЗП) Воронежского государственного университета инженерных технологий (ВГУИТ) и основанной на методике, утвержденной Федеральным исследовательским центром питания, биотехнологии и безопасности пищи. Содержание витаминов в кексах рассчитывали с учетом коэффициентов сохранности.

Исследования проводили в лабораториях кафедры ТХКМЗП, испытательном центре ВГУИТ, испытательном лабораторном центре (ИЛЦ) комбикормов, комбикормового сырья, пищевых продуктов

² Технические условия изготовления муки из косточковых плодов ТУ 10.86.10-578-02068108-2022 разработаны в Воронежском государственном университете инженерных технологий.

³ Сборник рецептов мучных кондитерских и булочных изделий / сост. А. В. Павлов. СПб., 2005, 294.

⁴ Технические условия изготовления кекса "Абелия" ТУ 10.72.12-582-02068108-2023 разработаны в Воронежском государственном университете инженерных технологий.

⁵ Технические условия изготовления кекса "Илекс" ТУ 10.72.12-583-02068108-2023 разработаны в Воронежском государственном университете инженерных технологий.

Научно-технического центра "Комбикорм" (г. Воронеж), ИЛЦ Центра гигиены и эпидемиологии в Воронежской области.

Экспериментальные исследования проводили в трехкратной повторности, полученные данные обрабатывали общепринятыми методами математической статистики с использованием стандартного пакета прикладных программ MAPLE 8; ошибка опыта не превышала более 5 %.

Результаты и обсуждение

Приоритетным направлением повышения пищевой ценности мучных кондитерских изделий является включение в их рецептуру нетрадиционных видов сырья. Использование данных продуктов в питании улучшает баланс витаминов, аминокислот, макро- и микроэлементов, пищевых волокон в организме и положительно влияет на здоровье человека.

Мука пшеничная хлебопекарная обойная цельнозерновая – источник витаминов, микроэлементов, белков, углеводов, дающих энергию; полиненасыщенных жирных кислот, положительно влияющих на обменные процессы в организме и способствующих укреплению сосудов. Использование цельнозерновой муки позволяет сохранить основные нутриенты – белки, аминокислоты, витамины группы В, РР, Е, зародыш зерна, пищевые волокна (Прихожаев и др., 2020).

Муку из косточковых плодов получали дезинтеграционно-волновым помолом, с помощью которого исходный продукт преобразуется в ходе применения классической схемы возбуждения генератора на диоде Ганна при слабом информационном СВЧ-воздействии и длинах волн порядка 8 мм. Синхронизируемые условия взаимодействия энергетических полей и вещества на атомно-молекулярном уровне, создаваемые в дезинтеграторе, способствуют позитивным изменениям химического состава получаемого продукта (Магомедов и др., 2013).

В муке из гранатовых косточек содержится большое количество жирных кислот (линолевой, олеиновой), участвующих в строительстве новых клеток и нормализующих обменные процессы в организме человека. Содержащиеся в муке витамины группы В, Е и пищевые волокна способствуют улучшению нервной, сердечно-сосудистой систем и желудочно-кишечного тракта. Мука из абрикосовых косточек обладает уникальными свойствами, в ней содержится значительное количество витамина В₁₇ – амигдалина. Употребление витамина В₁₇, преобразующегося в организме в простой углевод, является своего рода естественной химиотерапией (Федорченко и др., 2023; Ahmadi et al., 2022).

Патока высокоосахаренная отличается высоким содержанием витаминов группы В. Сироп содержит важные минеральные вещества: магний, калий, фосфор, кальций и железо. В состав продукта входит глюкоза (14–20 %), мальтоза (12–18 %), мальтотриоза (22–26 %), фруктоза, сахароза, декстрины, ферменты, белки (аминокислоты) и жиры (Магомедов и др., 2019). Патока менее калорийна по сравнению с сахаром белым и является лучшей его заменой.

Польза подсолнечного масла с добавлением оливкового для организма неоценима. В его составе представлены витамины группы В, Е, А, С, F, К. В подсолнечном масле идеальное сочетание жирных кислот, оно богато поли- и мононенасыщенными жирными кислотами (Казарова и др., 2018; Mildner-Szkudlarz et al., 2015; Магомедов и др., 2017; Шаймерденова и др., 2017).

На первом этапе работы был изучен химический состав используемой муки. Сравнительная оценка содержания нутриентов в 100 г исследуемых видов муки показала существенное различие количества пищевых веществ (табл. 1). В муке пшеничной хлебопекарной обойной цельнозерновой содержится больше пищевых волокон в 2,7 раза, минеральных веществ в 1,2–6,6 раз, витаминов – в 1,1–3,9 раз по сравнению с пшеничной мукой высшего сорта.

Мука из косточковых плодов отличается наибольшим содержанием белка и наименьшим количеством углеводов по сравнению с мукой пшеничной хлебопекарной высшего сорта. В муке из абрикосовых косточек содержится больше белка в 2,4 раза, углеводов меньше в 24 раза, в муке из гранатовых косточек содержание белка больше в 1,5 раза, углеводов меньше в 1,3 раза по сравнению с пшеничной мукой высшего сорта. Также наблюдалось большее количество витаминов и минеральных веществ в нетрадиционных видах муки, чем в пшеничной высшего сорта.

Таблица 1. Химический состав муки
Table 1. Chemical composition of flour

Наименование пищевого вещества	Содержание пищевых веществ в муке			
	пшеничной хлебопекарной		из косточек	
	высшего сорта	обойной цельнозерновой	гранатовых	абрикосовых
Белок, г	10,3	11,5	16,0	25,0
Жиры, г	1,1	2,1	11,0	45,5
Углеводы, г	68,5	59,2	51,0	2,8
Зола, г	0,7	7,2	12,0	125,0
Пищевые волокна, г	3,5	9,3	1,7	2,6

Макроэлементы, мг				
Калий	122,0	310,0	150,0	802,0
Кальций	18,0	39,0	48,0	93,0
Магний	16,0	94,0	325,0	196,0
Фосфор	86,0	336,0	49,0	461,0
Микроэлементы				
Железо, мг	1,2	4,7	4,1	7,0
Цинк, мкг	1,0	5,5	3,9	–
Селен, мкг	6,0	20,0	11,5	–
Витамины, мг				
Тиамин	0,46	0,41	1,8	1,0
Рибофлавин	0,13	0,15	0,18	0,3
Никотиновая кислота	2,2	5,5	3,34	4,0

В работе предлагается замена масла сливочного на масло подсолнечное с добавлением оливкового, в котором содержится больше полиненасыщенных жирных кислот и природных антиоксидантов (табл. 2). Включение его в рецептуру кексов будет способствовать улучшению работы сердечно-сосудистой системы и укреплению иммунитета.

Таблица 2. Жирнокислотный состав масла (Лобанов и др., 2003)
 Table 2. Fatty acid composition of the oil (Lobanov et al., 2003)

Жирные кислоты	Содержание пищевых веществ в масле, %	
	сливочном	подсолнечном с добавлением оливкового
Насыщенные	47,1	10,62
Мононенасыщенные	22,06	23,8
Полиненасыщенные	2,2	65,0

Вторым этапом работы было изучение влияния нетрадиционных видов сырья на органолептические, микробиологические и физико-химические показатели теста и готовых изделий.

Объемную массу полуфабриката определяли волюмометрическим методом. Установили, что максимальное значение исследуемого показателя наблюдалось у образца, в состав которого входила мука из гранатовых косточек (0,84 г/см³) (рис. 1).

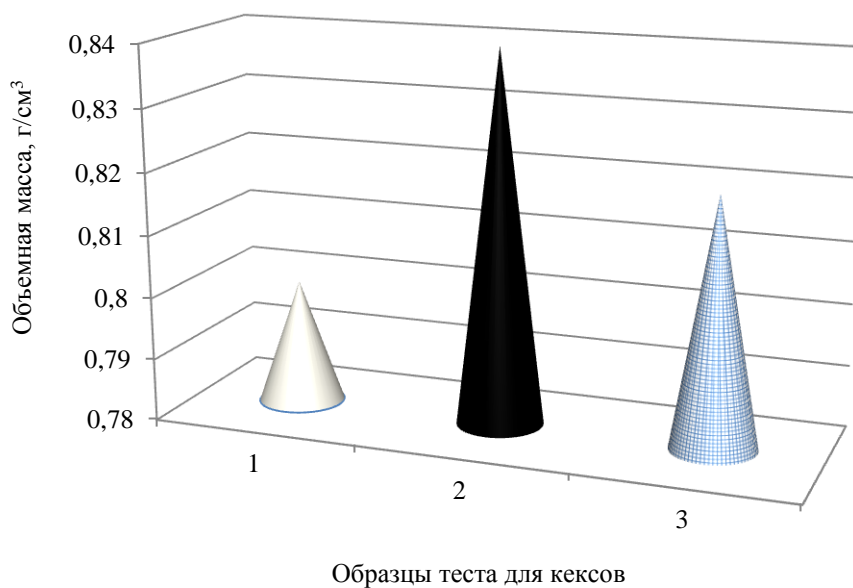


Рис. 1. Изменение объемной массы теста в образцах кексов: 1 – "Столичный"; 2 – "Абелия"; 3 – "Илекс"
 Fig. 1. Change in volume mass of dough in cupcake samples: 1 – "Stolichny"; 2 – "Abelia"; 3 – "Ilex"

Результаты пробной выпечки свидетельствуют о том, что внесение нетрадиционных видов сырья и замена ингредиентов в рецептуре кекса "Столичный" повышали балловую оценку изделий (табл. 3). Кекс "Абелия" характеризовался максимальным значением баллов (35) по сравнению с другими образцами.

Таблица 3. Показатели качества образцов кексов
Table 3. Quality indicators of cupcake samples

Органолептическая характеристика	Показатель качества, баллы		
	"Столичный"	"Абелия"	"Илекс"
Форма	4 (менее выпуклая, с характерными трещинами и явно выраженной боковой поверхностью)	5 (выпуклая, с характерными трещинами и явно выраженной боковой поверхностью)	4 (менее выпуклая, с характерными трещинами и явно выраженной боковой поверхностью)
Поверхность	4 (менее выпуклая, с характерными трещинами)	5 (менее выпуклая, с характерными трещинами)	4 (менее выпуклая, с характерными трещинами)
Цвет	5 (светло-коричневый)	5 (бордовый)	5 (светло-коричневый, с отрубянистыми частицами)
Вид в изломе	4 (разрыхленный, пропеченный, с равномерной структурой, без признаков непромеса)	5 (хорошо разрыхленный, пропеченный, с равномерной структурой, без признаков непромеса)	5 (хорошо разрыхленный, пропеченный, с равномерной структурой, без признаков непромеса)
Структура	5 (мягкая, связанная, пористая, без пустот и уплотнений)	5 (мягкая, связанная, пористая, без пустот и уплотнений)	5 (мягкая, связанная, пористая, без пустот и уплотнений)
Вкус	4 (свойственный данному виду)	5 (присутствует приятный вкус муки из гранатовых косточек)	5 (присутствует приятный вкус муки из абрикосовых косточек)
Запах	4 (свойственный данному виду)	5 (достаточно выраженный аромат граната)	5 (приятный запах муки из абрикосовых косточек)
Итого	31	35	33

Графические изображения результатов анализа дегустационных испытаний образцов кексов (профиллограммы) приведены на рис. 2.

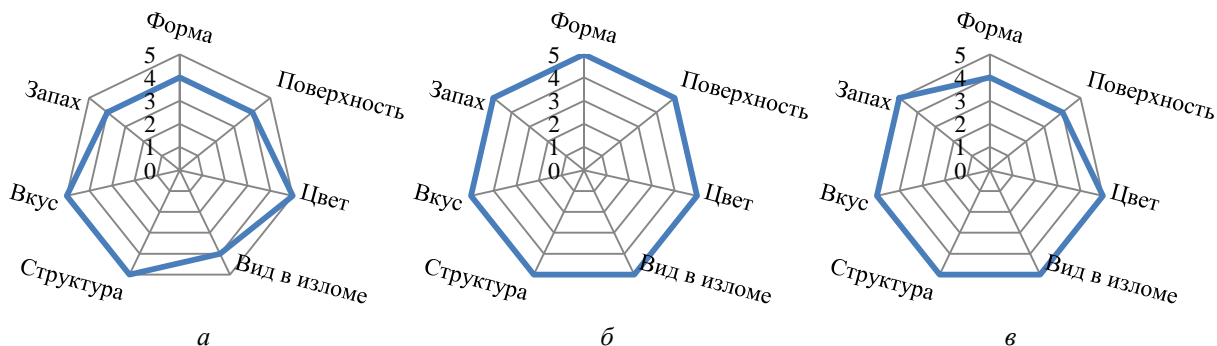


Рис. 2. Профиллограммы органолептических показателей качества образцов кексов:
а – "Столичный"; б – "Абелия"; в – "Илекс"

Fig. 2. Profilograms of organoleptic quality indicators of cupcake samples:
а – "Stolichny", б – "Abelia", в – "Ilex"

По результатам анализа профиллограмм выявлено, что кексы "Столичный" и "Илекс" характеризовались оценкой "хорошо"; кекс "Абелия" – "отлично".

При определении щелочности изделий установлено, что включение в рецептуру нетрадиционных видов сырья снижало значение исследуемого показателя (рис. 3). Минимальная величина щелочности (1 градус) наблюдалась в кексе "Илекс" с абрикосовой мукой.

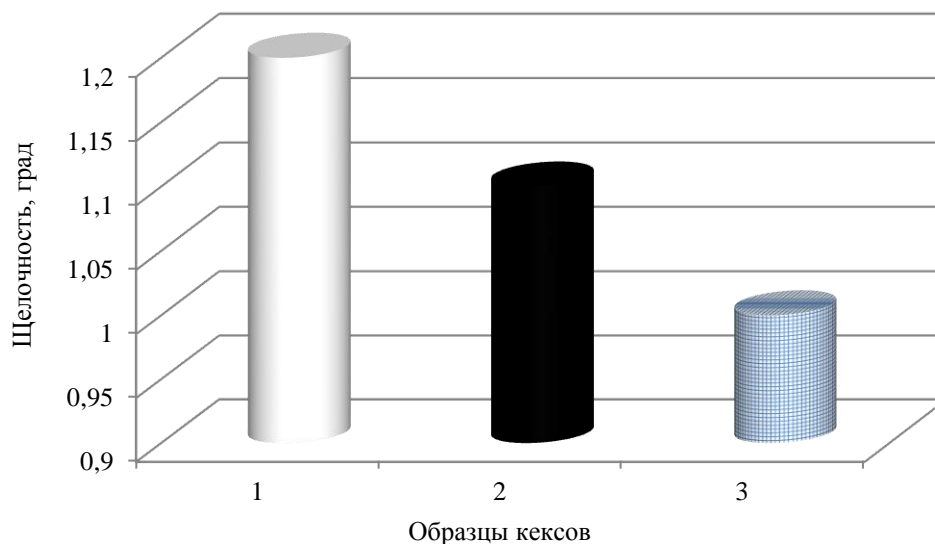


Рис. 3. Значение щелочности в образцах кексов: 1 – "Столичный"; 2 – "Абелия"; 3 – "Илекс"
Fig. 3. The value of alkalinity in cupcake samples: 1 – "Stolichnyy"; 2 – "Abeliya"; 3 – "Ilex"

Определено, что за счет внесения нетрадиционных видов сырья удельный объем изделий увеличивался в сравнении с контролем на 1,2 ("Абелия") и 1,0 см³/г ("Илекс"). Это объясняется пониженным содержанием пищевых волокон в муке из косточковых плодов, способствовавшим получению более разрыхленной структуры кексов и повышению их объема (рис. 4).

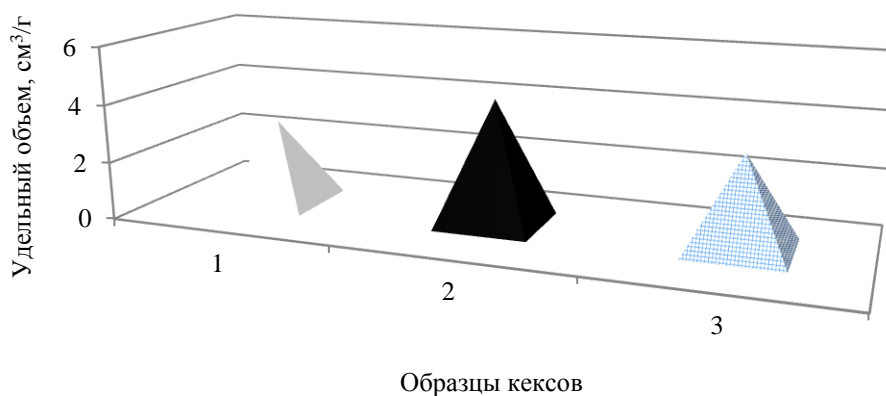


Рис. 4. Значения удельного объема в образцах кексов: 1 – "Столичный"; 2 – "Абелия"; 3 – "Илекс"
Fig. 4. The value of the specific volume in cupcake samples: 1 – "Stolichnyy"; 2 – "Abeliya"; 3 – "Ilex"

Антиоксидантную активность в изделиях определяли амперометрическим методом, заключающимся в измерении электрического тока, возникающего в процессе окисления вещества, при определенном потенциале и сравнении полученного сигнала с сигналом стандарта (кверцетина) (Яшин, 2021).

Установлено, что содержание антиоксидантов в образцах кексов "Абелия" и "Илекс" составило 0,227 и 0,127 мг/г соответственно, что значительно больше, чем в кексе "Столичный" (0,054 мг/г) (рис. 5). Этот факт обусловлен добавлением муки пшеничной хлебопекарной обойной цельнозерновой и муки из косточковых плодов в соотношении 30:70, которые в своем составе содержат витамины (тиамин, рибофлавин), а также микроэлементы (железо, цинк, селен). Кекс с добавлением гранатовой муки отличался наиболее высоким содержанием антиоксидантов, так как данная мука характеризуется значительным

количеством флавоноидов, которые оказывают антиоксидантный, противовоспалительный эффект, обладают антимуtagenными и антиканцерогенными свойствами.

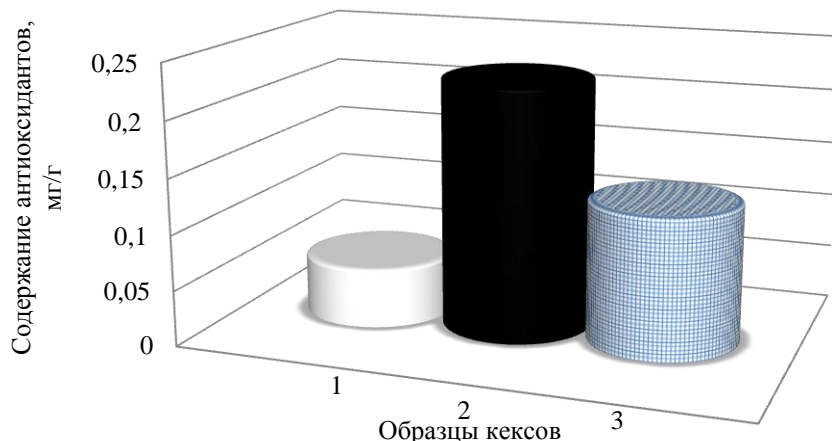


Рис. 5. Антиоксидантная активность в образцах кексов: 1 – "Столичный"; 2 – "Абелия"; 3 – "Илекс"
 Fig. 5. Antioxidant activity in cupcakes: 1 – "Stolichny"; 2 – "Abelia"; 3 – "Пех"

Стойкость кексов к плесневению определяли путем фиксации признаков появления колоний плесневых грибов на поверхности образцов изделий на протяжении 40 сут при температуре 24 ± 2 °C по шкале, указанной в работе (Мыколенко и др., 2014) (табл. 4).

Таблица 4. Шкала оценивания плесневения мучных кондитерских изделий
 Table 4. Scale of assessment of mold formation of flour confectionery products

Признак	Баллы
Отсутствуют колонии	0
Присутствуют 1–2 одиночные колонии	1
Присутствуют 3–4 колонии	2
Присутствуют 5–10 колоний	3
Присутствуют 10–20 колоний	4
Присутствует более 20 колоний	5
Повреждено более 50 % поверхности изделия	6
Повреждено 70 % поверхности изделия	7
Повреждено 80 % поверхности изделия	8
Повреждено 90 % поверхности изделия	9
Вся поверхность изделия покрыта плесенью	10

В ходе исследования установлено, что первые признаки плесневения наблюдались в образце 1 на 28 сут хранения; в образце 2 – 36 сут хранения, в образце 3 – на 35 сут хранения (табл. 5). Через 36 сут хранения образец 1 был покрыт плесенью в большей степени (степень плесневения 4 балла) по сравнению с образцами 2 и 3 (степень плесневения 2 балла). На 40 сут на контрольном образце 1 присутствовало более 20 колоний (степень плесневения 5 баллов), в образцах 2 и 3 около 12–14 колоний (степень плесневения 4 балла).

Таблица 5. Устойчивость кексов к плесневению
 Table 5. The resistance of cupcakes to mold formation

Продолжительность хранения, сут	Оценка уровня микробиологического повреждения плесневыми грибами кексов					
	"Столичный"		"Абелия"		"Илекс"	
	Наличие признаков	Баллы	Наличие признаков	Баллы	Наличие признаков	Баллы
1–10	–	0	–	0	–	0
11–27	–	0	–	0	–	0
28	+	2	–	0	–	0
29–35	+	3	–	0	+	2
36	+	4	+	2	+	2
40	+	5	+	4	+	4

Выявлено, что в процессе хранения образцы 2 и 3 в имеют меньшее количество МАФAnM по сравнению с образцом 1. После 40 сут значение микробиологического показателя в кексах, содержащих нетрадиционные виды сырья, было на 17 % меньше, чем в кексе 1 (контроль) (рис. 6). Представленные данные указывают на то, что замена сырья в рецептуре кекса "Столичный" способствует подавлению жизнедеятельности плесневых грибов. Применение дезинтеграционно-волнового помола для получения муки из косточковых плодов обеспечивает позитивные изменения физико-химического состояния продукта, в том числе микробиологического, за счет возникающих в камере дезинтегратора синхронизируемых условий взаимодействия электромагнитного поля и вещества на атомно-молекулярном уровне (Магомедов и др., 2013; Федорченко и др., 2023).

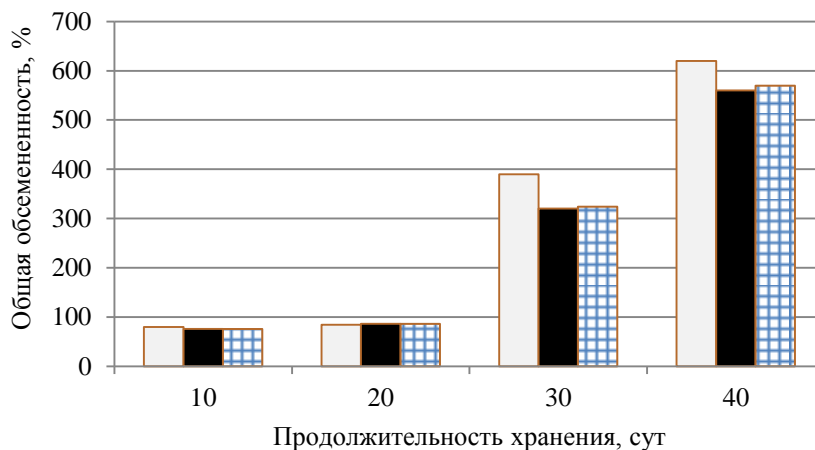


Рис. 6. Изменение содержания МАФAnM в изделиях в процессе хранения
Fig. 6. Changes in the content of MAFAnM in products during storage

Таким образом, введение в рецептуру кекса нетрадиционных видов сырья (муки пшеничной хлебопекарной обойной цельнозерновой, муки из косточковых плодов, масла подсолнечного с добавлением оливкового, патоки высокоосахаренной) не приводит к ухудшению микробиологических показателей; для данного вида изделия может быть установлен срок годности 40 сут с сохранением потребительских характеристик.

Следующим этапом исследования была сравнительная оценка пищевой ценности рассматриваемых кексов. Анализ расчета химического состава образцов, степени удовлетворения суточной потребности в веществах показал, что изделия, приготовленные с использованием нетрадиционных видов сырья, превосходят контрольный образец (рис. 7, табл. 6).

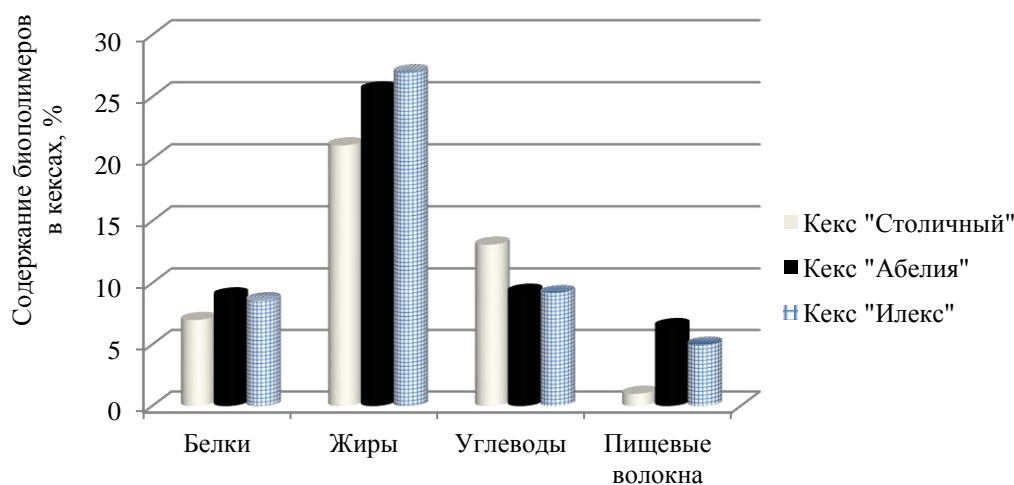


Рис. 7. Фактическое содержание биополимеров
Fig. 7. The actual content of biopolymers

Таблица 6. Минеральный и витаминный состав кексов в 100 г
Table 6. Mineral and vitamin composition of cupcakes in 100 g

Наименование пищевой вещества	Содержание в образцах кексов		
	"Столичный"	"Абелия"	"Илекс"
Витамины, мг			
Тиамин	0,3	0,5	0,11
Рибофлавин	0,5	0,13	0,18
Никотиновая кислота	50,0	58,0	60,0
Макроэлементы, мг			
Калий	143,0	327,7	260,8
Кальций	41,4	49,6	44,0
Магний	10,9	64,0	68,2
Фосфор	82,7	95,17	96,86
Микроэлементы			
Железо, мг	1,1	1,96	1,7
Цинк, мкг	3,2	5,8	3,8
Селен, мкг	30,0	33,0	26,4

Так, в 100 г кексов "Абелия" и "Илекс" содержится больше белков на 1,8–2,0 г, жиров – на 3,9–4,4 г, пищевых волокон – на 1,86 г, чем в контрольном образце "Столичный", при этом снижается содержание углеводов на 4,0–5,8 г (табл. 7).

Установлено, что потребление 100 г полученных кексов обеспечит удовлетворение суточной потребности в белке на 19 %, жире – 8, углеводах – 14, пищевых волокнах – 28, минеральных веществах – 3–30, витаминах – на 2–39 %.

Таблица 7. Степень удовлетворения суточной потребности организма человека
в пищевых нутриентах за счет потребления 100 г кексов

Table 7. The degree of satisfaction of the daily needs of the human body due
to the consumption of 100 g of cupcakes

Наименование пищевой вещества	Физиологическая суточная потребность, г/сут (ТР ТС 022/2011)	Степень удовлетворения при употреблении образцов кексов, %		
		"Столичный"	"Абелия"	"Илекс"
Белки, г	75,0	7,3	9,96	8,2
Жиры, г	83,0	21,1	25,6	42,0
Углеводы, г	365,0	13,1	9,3	1,8
Пищевые волокна, г	30,0	0,3	6,5	4,2
Тиамин, мг	1,4	35,7	36,5	35,2
Рибофлавин, мг	1,6	6,3	12,5	10,1
Никотиновая кислота, мг	13,0	10,0	11,6	12,1
Калий, мг	3 500,0	4,1	9,4	8,2
Кальций, мг	1 000,0	4,14	4,96	4,05
Магний, мг	400,0	2,7	16,0	17,4
Фосфор, мг	800,0	10,3	11,9	11,0
Железо, мг	14,0	7,9	14,0	10,0
Цинк, мкг	150,0	2,0	4,0	4,8
Селен, мкг	20,0	1,0	1,3	1,5
Энергетическая ценность, ккал (кДж)	2 500,0	430,0 (1 800,0)	406,0 (1 699,0)	414,0 (1 733,0)

Заключение

Применение нетрадиционных видов сырья – муки пшеничной хлебопекарной обойной цельнозерновой, муки из косточковых плодов (гранатовых и абрикосовых косточек) – при производстве кексов из муки пшеничной хлебопекарной высшего сорта позволяет улучшить их органолептические показатели (форму, цвет, поверхность, структуру, запах), увеличить значения физико-химических характеристик теста (объемной массы) и изделий (удельного объема), а также обеспечить рациональное использование сырьевых ресурсов.

Внесение обогатителей (нетрадиционных видов муки, масла подсолнечного с добавлением оливкового, патоки высокосахаренной) в рецептуру кекса "Столичный" обеспечивает гармоничный вкус, увеличивает

его антиоксидантную активность и функциональность и не приводит к ухудшению микробиологических показателей. Полученные экспериментальные данные позволяют сделать обоснованный вывод об эффективности применения нетрадиционных видов сырья в производстве обогащенных кексов. Разработанные мучные кондитерские изделия могут быть рекомендованы для питания различных категорий населения, в том числе для профилактики заболеваний, связанных с недостатком микронутриентов.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Библиографический список

- Бадамшина Е. В., Лещенко Н. И., Колесникова Н. В., Карачурина Г. Р. Совершенствование рецептуры кекса "Столичный" с добавлением муки тритикале и порошка шиповника // Тритикале : материалы междунар. науч.-практ. конф. "Тритикале и стабилизация производства зерна, кормов и продуктов их переработки", Ростов-на-Дону, 07 июня 2018 г. Ростов-на-Дону, 2018. С. 243–249. EDN: YMTRUD.
- Егорова Е. Ю., Козубаева Л. А. Безглютеновые кексы с амарантовой мукой // Ползуновский вестник. 2018. № 1. С. 22–26. DOI: <https://doi.org/10.25712/astu.2072-8921.2018.01.005>. EDN: YWIPRU.
- Жаркова И. М., Самохвалов А. А., Густинович В. Г., Корячкина С. Я. [и др.]. Обзор разработок мучных изделий для безглютенового и геродиетического питания // Вестник Воронежского государственного университета инженерных технологий. 2019. Т. 81. № 1(79). С. 213–217. DOI: <https://doi.org/10.20914/2310-1202-2019-1-213-217>. EDN: NBPQNA.
- Казарова И. Г., Закурдаева А. А. Разработка рецептуры кондитерского изделия, обогащенного растительными компонентами // Устойчивое развитие науки и образования. 2018. № 10. С. 233–236. EDN: YNRKDJ.
- Лакиза Н. В. Анализ пищевых продуктов. Екатеринбург : Изд-во Урал. ун-та, 2015. 188 с.
- Лобанов В. Г., Щербин В. В. Оптимальный жирнокислотный состав пищевых растительных масел // Известия высших учебных заведений. Пищевая технология. 2003. № 4(275). С. 21–23. EDN: QCPICV.
- Лобосова Л. А., Малюткина Т. Н., Нестерова И. Ю., Деревщиков Н. С. Кексы функциональной направленности // Пищевая индустрия. 2020. № 2(44). С. 30–31. EDN: RLQMGL.
- Магомедов Г. О. [и др.]. Исследование структурно-механических свойств кексов с нетрадиционными видами муки // материалы 3-й Междунар. науч.-практ. конф. "Управление реологическими свойствами пищевых продуктов". 2012. С. 120–123.
- Магомедов Г. О., Плотникова И. В., Кузнецова И. В., Наумченко И. С. [и др.]. Исследование форм связи влаги зефира различного состава методом термического анализа // Вестник Воронежского государственного университета инженерных технологий. 2017. Т. 79, № 3(73). С. 42–50. DOI: [10.20914/2310-1202-2017-3-42-50](https://doi.org/10.20914/2310-1202-2017-3-42-50). EDN: ZTUKMN.
- Магомедов Г. О., Плотникова И. В., Шевякова Т. А., Плотников В. Е. Оптимизация рецептурного состава и показателей качества кремовой кондитерской массы с использованием крахмальной патоки // Известия высших учебных заведений. Пищевая технология. 2019. № 1(367). С. 50–54. DOI: <https://doi.org/10.26297/0579-3009.2019.1.12>. EDN: VWEDPF.
- Магомедов Г. О., Садыгова М. К., Лукина С. И., Кустов В. Ю. Влияние дезинтеграционно-волнового помола на фракционный и аминокислотный состав белка нута // Вестник Воронежского государственного университета инженерных технологий. 2013. № 1(55). С. 94–97. EDN: PYEPKV.
- Мыколенко С. Ю., Пивоваров А. А., Тищенко А. П. Повышение микробиологической устойчивости хлебопекарной продукции с применением плазмохимических технологий // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. 2014. Т. 2, № 2(68). С. 30–36. EDN: SEBENZ.
- Плотникова И. В., Магомедов Г. О., Шевякова Т. А., Губковская В. В. [и др.]. Шоколадные кексы улучшенного качества // Вестник Воронежского государственного университета инженерных технологий. 2019. Т. 81, № 2(80). С. 125–132. DOI: <https://doi.org/10.20914/2310-1202-2019-2-125-132>. EDN: LRCTAM.
- Пономарева Е. И., Кривошеев А. Ю., Лукина С. И., Алехина Н. Н. [и др.]. Хлебные палочки повышенной пищевой ценности для ахлоридного питания // Техника и технология пищевых производств. 2018. Т. 48, № 1. С. 114–124. DOI: <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2018-1-114-124>. EDN: YWOGCD.
- Прихожаев И. В., Смирнова В. В. Особенности технологии производства хлеба из цельнозерновой муки // Горинские чтения. Инновационные решения для АПК : материалы междунар. студ. науч. конф., Майский, 18–19 марта 2020 г. Майский : Изд-во БГАУ им. В. Я. Горина, 2020. Т. 2. С. 339. EDN: KBORQM.
- Тарасенко Н. А., Баранова З. А., Быкова Н. С., Третьякова Н. Р. Использование пищевых волокон в функциональных кондитерских изделиях // Успехи современного естествознания. 2016. № 11. С. 86–90. EDN: XAHARH.
- Ушакова Ю. В., Паськова Е. М., Рысмухамбетова Г. Е., Кулеватова Т. Б. Влияние состава композитных смесей с пониженным содержанием глютена на реологические свойства теста на их основе // Новые

- технологии. 2020. № 4. С. 74–83. DOI: <https://doi.org/10.47370/2072-0920-2020-15-4-74-83>. EDN: YMHLEY.
- Федорченко Н. Н., Пономарева Е. И., Бакаева И. А., Кустов И. А. Мука из косточковых плодов: показатели качества и перспектива использования // Продовольственная безопасность: научное, кадровое и информационное обеспечение : сб. науч. ст. и докл. IX междунар. науч.-практ. конф., Воронеж, 15–17 декабря 2022 г. Воронеж : ВГУИТ, 2023. С. 259–260. EDN: NUUEJQ.
- Функциональная смесь для производства кексов : пат. № 2492657 Рос. Федерация / Ершова Н. П., Тарасенко Н. А. № 2012109027 : заявл. 03.11.2012 : опубл. 20.09.2013.
- Шаймерденова Д. А., Горбатовская Н. А., Изтаев А. И. Определение перспективности сортов мягкой пшеницы Казахстана методом микроскопирования // Вестник Воронежского государственного университета инженерных технологий. 2017. Т. 79, № 3(73). С. 86–92. DOI: <https://doi.org/10.20914/2310-1202-2017-3-86-92>. EDN: ZTUKPF.
- Яшин А. Я. Методология определения антиоксидантной активности пищевых продуктов и биологических жидкостей // Аналитика. 2021. Т. 11. № 5. С. 370–385. DOI: <https://doi.org/10.22184/2227-572x.2021.11.5.370.384>. EDN: HXTAIN.
- Ahmadi F., Aghajani N., Ardabili A. G. Response surface optimization of cupcake physicochemical and sensory attributes during storage period: Effect of apricot kernel flour addition // Food Science & Nutrition. 2022. Vol. 10, Iss. 3. P. 661–677. DOI: <https://doi.org/10.1002/fsn3.2688>.
- González-Rámila S., Mateos R., García-Cordero J., Seguido M. A. [et al.] Olive pomace oil versus high oleic sunflower oil and sunflower oil: A comparative study in healthy and cardiovascular risk humans // Foods. 2022. Vol. 11, Iss. 15. Article number: 2186. DOI: <https://doi.org/10.3390/foods11152186>.
- Jeyanthi R. L., Candace Seshiah, Sharmila D. Fortification of cupcakes with cereals and pulses // International Journal of Novel Research in Life Sciences. 2016. Vol. 3, Issue 3. P. 1–6.
- Lebesi D. M., Tzia C. Effect of the addition of different dietary fiber and edible cereal bran sources on the baking and sensory characteristics of cupcakes // Food and Bioprocess Technology. 2011. Vol. 4. P. 710–722. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11947-009-0181-3>.
- Mildner-Szkudlarz S., Siger A., Szwengiel A., Bajerska J. Natural compounds from grape by-products enhance nutritive value and reduce formation of CML in model muffins // Food Chemistry. 2015. N 172. P. 78–85. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2014.09.036>.

References

- Badamshina, E. V., Leshchenko, N. I., Kolesnikova, N. V., Karachurina, G. R. 2018. Improving the recipe of the "Stolichny" cupcake with the addition of triticale flour and rosehip powder. Rostov-na-Donu, Donskoy Publishing Center, pp. 243–249. EDN: YMTRUD. (In Russ.)
- Egorova, E. Yu., Kozubaeva, L. A. 2018. Gluten-free cupcakes with amaranth flour. *Polzunovskiy Vestnik*, 1, pp. 22–26. DOI: <https://doi.org/10.25712/astu.2072-8921.2018.01.005>. EDN: YWIPRU. (In Russ.)
- Zharkova, I. M., Samokhvalov, A. A., Gustinovich, V. G., Koryachkina, S. Ya. et al. 2019. Review of the development of flour products for gluten-free and herodiatic nutrition. *Proceedings of the Voronezh State University of Engineering Technologies*, 81(1(79)), pp. 213–217. DOI: <https://doi.org/10.20914/2310-1202-2019-1-213-217>. EDN: NBPQHA. (In Russ.)
- Kazarova, I. G., Zakurdaeva, A. A. 2018. Formulation development of confectionery enriched with vegetable components. *Ustoichivoe Razvitie Nauki I Obrazovaniya*, 10, pp. 233–236. EDN: YNRKDJ. (In Russ.)
- Lakiza, N. V. 2015. Analysis of food products. Yekaterinburg. (In Russ.)
- Lobanov, V. G., Shcherbin, V. V. 2003. Optimal fatty acid composition of edible vegetable oils. *Izvestiya Vuzov. Food Technology*, 4(275), pp. 21–23. EDN: QCPICV. (In Russ.)
- Lobosova, L. A., Malyutina, T. N., Nesterova, I. Yu., Derevshchikov, N. S. 2020. Cupcakes of functional orientation. *Pishchevaya Industriya*, 2(44), pp. 30–31. EDN: RLQMGL. (In Russ.)
- Magomedov, G. O. et al. 2012. Investigation of the structural and mechanical properties of cupcakes with non-traditional types of flour. Proceedings of 3 Intern. scient.-pract. conf. *Management of rheological properties of food products*, pp. 120–123. (In Russ.)
- Magomedov, G. O., Plotnikova, I. V., Kuznetsova, I. V., Naumchenko, I. S. et al. 2017. Investigation of the forms of moisture bonding of marshmallows of various compositions by thermal analysis. *Proceedings of the Voronezh State University of Engineering Technologies*, 79(3(73)), pp. 42–50. DOI:10.20914/2310-1202-2017-3-42-50. EDN: ZTUKMN. (In Russ.)
- Magomedov, G. O., Plotnikova, I. V., Shevyakova, T. A., Plotnikov, V. E. 2019. Optimization of the formulation composition and quality indicators of cream confectionery mass using starch molasses. *Izvestiya Vuzov. Food Technology*, 1(367), pp. 50–54. DOI: <https://doi.org/10.26297/0579-3009.2019.1.12>. EDN: VWEDPF. (In Russ.)

- Magomedov, G. O., Sadygova, M. K., Lukina, S. I., Kustov, V. Yu. 2013. The effect of disintegration wave grinding on the fractional and amino acid composition of chickpea protein. *Proceedings of the Voronezh State University of Engineering Technologies*, 1(55), pp. 94–97. EDN: PYEPKV. (In Russ.)
- Mykolenko, S. Yu., Pivovarov, A. A., Tishchenko, A. P. 2014. Improving the microbiological stability of bakery products using plasma chemical technologies. *East European Journal of Advanced Technologies*, 2(2(68)), pp. 30–36. EDN: SEBEHZ. (In Russ.)
- Plotnikova, I. V., Magomedov, G. O., Shevyakova, T. A., Gubkovskaya, V. V. et al. 2019. Chocolate cupcakes of improved quality. *Proceedings of the Voronezh State University of Engineering Technologies*, 81(2(80)), pp. 125–132. DOI: <https://doi.org/10.20914/2310-1202-2019-2-125-132>. EDN: LRCTAM. (In Russ.)
- Ponomareva, E. I., Krivosheev, A. Yu., Lukina, S. I., Alyokhina, N. N. et al. 2018. Breadsticks of increased nutritional value for achloride nutrition. *Food Processing: Techniques and Technology*, 48(1), pp. 114–124. DOI: <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2018-1-114-124>. EDN: YWOGCD. (In Russ.)
- Prikhozhaev, I. V., Smirnova, V. V. 2020. Features of the technology of bread production from whole grain flour. Proceedings of Intern. students' scient. conf. *Gorinsky readings. Innovative solutions for agriculture*, Maisky, 18–19 March, 2020. Maisky, Vol. 2, pp. 339. EDN: KBORQM. (In Russ.)
- Tarasenko, N. A., Baranova, Z. A., Bykova, N. S., Tretyakova, N. R. 2016. The use of dietary fibers in functional confectionery products. *Uspekhi Sovremennogo Estestvoznaniya*, 11, pp. 86–90. EDN: XAHARH. (In Russ.)
- Ushakova, Yu. V., Paskova, E. M., Rysmukhambetova, G. E., Kulevatova, T. B. 2020. The effect of the composition of composite mixtures with a reduced gluten content on the rheological properties of dough based on them. *New Technologies*, 4, pp. 74–83. DOI: <https://doi.org/10.47370/2072-0920-2020-15-4-74-83>. EDN: YMHLEY. (In Russ.)
- Fedorchenko, N. N., Ponomareva, E. I., Bakaeva, I. A., Kustov, I. A. 2023. Stone fruit flour: Quality indicators and prospects of use. Coll. of articles and reports of the IX Intern. Scient. and Pract. Conf. *Food security: scientific, personnel and information support*, Voronezh, 15–17 December, 2022. Voronezh, pp. 259–260. EDN: NUEEJQ. (In Russ.)
- Ershova, N. P., Tarasenko, N. A. 2013. Functional mixture for the production of cupcakes, Russian Federation, Pat. 2492657. (In Russ.)
- Shaimerdenova, D. A., Gorbatovskaya, N. A., Iztaev, A. I. 2017. Determination of the prospects of soft wheat varieties of Kazakhstan by microscopy. *Proceedings of the Voronezh State University of Engineering Technologies*, 79(3(73)), pp. 86–92. DOI: <https://doi.org/10.20914/2310-1202-2017-3-86-92>. EDN: ZTUKPF. (In Russ.)
- Yashin, A. Ya. 2021. Methodology for determining the antioxidant activity of food products and biological fluids. *Analytics*, 11(5), pp. 370–385. DOI: <https://doi.org/10.22184/2227-572x.2021.11.5.370.384>. EDN: HXTAIN. (In Russ.)
- Ahmadi, F., Aghajani, N., Ardabili, A. G. 2022. Response surface optimization of cupcake physicochemical and sensory attributes during storage period: Effect of apricot kernel flour addition. *Food Science & Nutrition*, 10(3), pp. 661–677. DOI: <https://doi.org/10.1002/fsn3.2688>.
- González-Rámila, S., Mateos, R., García-Cordero, J., Seguido, M. A. et al. 2022. Olive pomace oil versus high oleic sunflower oil and sunflower oil: A comparative study in healthy and cardiovascular risk humans. *Foods*, 11(15). Article number: 2186. DOI: <https://doi.org/10.3390/foods11152186>.
- Jeyanthi, R. L., Candace, Seshiah, Sharmila, D. 2016. Fortification of cupcakes with cereals and pulses. *International Journal of Novel Research in Life Sciences*, 3(3), pp. 1–6.
- Lebesi, D. M., Tzia, C. 2011. Effect of the addition of different dietary fiber and edible cereal bran sources on the baking and sensory characteristics of cupcakes. *Food and Bioprocess Technology*, 4, pp. 710–722. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11947-009-0181-3>.
- Mildner-Szkudlarz, S., Siger, A., Szwengiel, A., Bajerska, J. 2015. Natural compounds from grape by-products enhance nutritive value and reduce formation of CML in model muffins. *Food Chemistry*, 172, pp. 78–85. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2014.09.036>.

Сведения об авторах

Пономарева Елена Ивановна – пр. Революции, 19, г. Воронеж, Россия, 394036;
Воронежский государственный университет инженерных технологий, д-р техн. наук, профессор;
e-mail: elena6815@eandex.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0023-2310-2838>

Elena I. Ponomareva – 19 Revolution Ave., Voronezh, Russia, 394036; Voronezh State University of Engineering Technologies (VSUIT), Dr Sci. (Engineering), Professor;
e-mail: elena6815@eandex.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0023-2310-2838>

Федорченко Нина Николаевна – пр. Революции, 19, г. Воронеж, Россия, 394036;
Воронежский государственный университет инженерных технологий, аспирант;
e-mail: ni2na.carvi@gmail.com, ORCID: <https://orcid.org/0009-0003-0148-8458>

Nina N. Fedorchenko – 19 Revolution Ave., Voronezh, Russia, 394036; Voronezh State University of Engineering Technologies (VSUIT), Ph.D. Student;
e-mail: ni2na.carvi@gmail.com, ORCID: <https://orcid.org/0009-0003-0148-8458>

Лукина Светлана Ивановна – пр. Революции, 19, г. Воронеж, Россия, 394036;
Воронежский государственный университет инженерных технологий, канд. техн. наук, доцент;
e-mail: lukina.si@yandex.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4393-2046>

Svetlana I. Lukina – 19 Revolution Ave., Voronezh, Russia, 394036; Voronezh State University of Engineering Technologies (VSUIT), Cand. Sci. (Engineering), Associate Professor;
e-mail: lukina.si@yandex.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4393-2046>

Алехина Надежда Николаевна – пр. Революции, 19, г. Воронеж, Россия, 394036;
Воронежский государственный университет инженерных технологий, д-р техн. наук, профессор;
e-mail: nadinat@yandex.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3317-9858>

Nadezhda N. Alyokhina – 19 Revolution Ave., Voronezh, Russia, 394036; Voronezh State University of Engineering Technologies (VSUIT), Dr Sci. (Engineering), Professor;
e-mail: nadinat@yandex.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3317-9858>

Никитина Лилия Андреевна – пр. Революции, 19, г. Воронеж, Россия, 394036;
Воронежский государственный университет инженерных технологий, магистр;
e-mail: lilia.nikit2001@gmail.com, ORCID: <https://orcid.org/0009-0002-2033-4756>

Lilia A. Nikitina – 19 Revolution Ave., Voronezh, Russia, 394036; Voronezh State University of Engineering Technologies (VSUIT), Master's Degree;
e-mail: lilia.nikit2001@gmail.com, ORCID: <https://orcid.org/0009-0002-2033-4756>

Нормативные документы, использованные в статье

ГОСТ 26574-2017	Мука пшеничная хлебопекарная. Технические условия. URL: https://base.garant.ru/71965208/ .
ГОСТ 32261-2013	Масло сливочное. Технические условия. URL: https://base.garant.ru/70878866/ .
ГОСТ 1129-2013	Масло подсолнечное. Технические условия. URL: https://base.garant.ru/70771282/ .
ГОСТ 33222-2015	Сахар белый. Технические условия. URL: https://base.garant.ru/71276818/ .
ГОСТ Р 33917-2016	Патока крахмальная. Общие технические условия. URL: https://base.garant.ru/71797784/ .
ГОСТ 2156-76	Натрий двууглекислый. Технические условия. URL: https://base.garant.ru/3924934/ .
ГОСТ Р 56968-2016	Уксус столовый. Технические условия. URL: https://base.garant.ru/71830522/ .
ГОСТ Р 51574-2018	Соль пищевая. Общие технические условия. URL: https://base.garant.ru/72049520/ .
ГОСТ 31654-2012	Яйца куриные пищевые. Технические условия. URL: https://base.garant.ru/70650974/ .
ГОСТ 6882-88	Виноград сушеный. Технические условия. URL: https://base.garant.ru/5925735/ .
ГОСТ 15052-2014	Кексы. Общие технические условия. URL: https://base.garant.ru/71263888/ .
ГОСТ 10846-91	Зерно и продукты его переработки. Метод определения белка. URL: https://base.garant.ru/5924668/ .
ГОСТ 32905-2014	Корма, комбикорма, комбикормовое сырье. Метод определения содержания сырого жира. URL: https://base.garant.ru/71314484/ .
ГОСТ 34844-2022	Продукция пищевая. Определение массовой доли пищевых волокон. URL: https://docs.cntd.ru/document/1200184485 .
ГОСТ 32343-2013	Корма, комбикорма. Определение содержания кальция, меди, железа, магния, марганца, калия, натрия и цинка методом атомно-абсорбционной спектроскопии. URL: https://base.garant.ru/400756481/ .
ГОСТ 26657-97	Корма, комбикорма, комбикормовое сырье. Методы определения содержания фосфора. URL: https://base.garant.ru/5917557/ .
ГОСТ Р 55449-2013	Корма, комбикорма, комбикормовое сырье. Определение содержания селена флуориметрическим методом. URL: https://base.garant.ru/401228658/ .
ГОСТ 29138-91	Мука, хлеб и хлебобулочные изделия пшеничные витаминизированные. Метод определения витамина В1 (тиамина). URL: https://base.garant.ru/5920540/ .
ГОСТ 29139-91	Мука, хлеб и хлебобулочные изделия пшеничные витаминизированные. Метод определения витамина В2 (рибофлавина). URL: https://base.garant.ru/5920541/ .
ГОСТ 31483-2012	Премиксы. Определение содержания витаминов: В1 (тиамина), В2 (рибофлавина), В3 (пантотеновой кислоты), В5 (никотиновой кислоты и никотинамида), В6 (пиридоксина), Вс (фолиевой кислоты), С (аскорбиновой кислоты) методом капиллярного электрофореза. URL: https://base.garant.ru/71380408/ .
ГОСТ 53494-2009	Премиксы витаминные и витаминно-минеральные для обогащения пшеничной хлебопекарной муки. Технические условия. URL: https://base.garant.ru/70224468/ .
ГОСТ 29140-91	Мука, хлеб и хлебобулочные изделия пшеничные витаминизированные. Метод определения витамина РР (никотиновой кислоты). URL: https://base.garant.ru/71332950/ .
ГОСТ Р 54634-2011	Продукты пищевые функциональные. Метод определения витамина Е. URL: https://base.garant.ru/71564002/ .
ГОСТ 5897-90	Изделия кондитерские. Методы определения органолептических показателей качества, размеров, массы нетто и составных частей. URL: https://docs.cntd.ru/document/1200022442 .
ГОСТ 5898-2022	Изделия кондитерские. Методы определения кислотности и щелочности. URL: https://docs.cntd.ru/document/1200184671 .
ГОСТ 5900-2014	Изделия кондитерские. Методы определения влаги и сухих веществ. URL: https://base.garant.ru/71190308/ .
ГОСТ 10444.15-94	Продукты пищевые. Методы определения количества мезофильных аэробных и факультативно-анаэробных микроорганизмов. URL: https://base.garant.ru/70240984/ .
ГОСТ 10444.12-88	Продукты пищевые. Метод определения дрожжей и плесневых грибов. URL: https://docs.cntd.ru/document/1200021096 .
ТР ТС 022/2011	Пищевая продукция в части ее маркировки. URL: https://docs.cntd.ru/document/902320347 .
ГОСТ 32201-2013	Корма, комбикорма. URL: https://files.stroyinf.ru/Data2/1/4293774/4293774012.pdf .

УДК 664.662, 664.665

Разработка технологии хлебобулочного изделия питы с повышенной пищевой ценностью

Г. В. Поснова, Н. Г. Иванова*

*Московский государственный университет технологий и управления им. К. Г. Разумовского
(Первый казачий университет), г. Москва, Россия;

e-mail: n.ivanova@mgutm.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3878-6355>

Информация о статье Реферат

Поступила
в редакцию
04.04.2024;

получена
после доработки
10.06.2024;

принята
к публикации
27.06.2024

Ключевые слова:

хлебобулочные изделия,
пита, витамины,
хвоя сосны, клюква,
черная смородина,
раствор хвои сосны,
корень имбиря

У большей части населения, проживающего в крупных городах и некоторых регионах РФ, присутствуют признаки снижения иммунитета, чаще всего проявляющиеся в простудных заболеваниях. Одним из способов укрепления иммунной системы организма человека является ликвидация дефицита витаминов, обладающих иммуномодулирующими свойствами. При разработке технологии хлебобулочного изделия питы готовили тесто из смеси ржаной обдирной и пшеничной муки высшего сорта в равных количествах. В качестве источников витаминов, оказывающих благоприятное воздействие на иммунную систему человека, вносили раствор хвои сосны взамен половины количества воды. В качестве источника витамина С использовалось пюре из ягод черной смородины и клюквы в соотношении 1 : 1. Дополнительным источником пищевых веществ, обладающим иммуномодулирующими свойствами, являлся порошок из сухого корня имбиря, вносимый в начинку в количестве 2 % к массе начинки. Для стабилизации начинки применяли яблочный пектин. Раствор хвои готовили путем смешивания спиртового настоя хвои и водного отвара хвои в соотношении 1 : 4. Раствором хвои заменяли половину количества воды, идущей на приготовление теста. Разработанное хлебобулочное изделие "Пита с ягодной начинкой" готовится при соотношении питы и начинки 1 : 2 по массе. Разработанное хлебобулочное изделие можно рекомендовать для стимулирования и укрепления иммунитета за счет дополнительного включения в рацион витаминов (С, К, А, В2, В6, В12), оказывающих благоприятное воздействие на иммунную систему человека.

Для цитирования

Поснова Г. В. и др. Разработка технологии хлебобулочного изделия питы с повышенной пищевой ценностью. Вестник МГУ. 2024. Т. 27, № 3. С. 400–411. DOI: <https://doi.org/10.21443/1560-9278-2024-27-3-400-411>.

Development of technology for pita bread with increased nutritional value

Galina V. Posnova, Natalia G. Ivanova*

*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
04.04.2024;

received
in revised form
10.06.2024;

accepted
27.06.2024

Key words:

bakery products, pita,
vitamins, pine needles,
cranberries,
black currants,
pine needle solution,
ginger root

Abstract

The majority of the population living in large cities and some regions of the Russian Federation show signs of decreased immunity, most often manifested in colds. One of the ways to strengthen the human body's immune system is to eliminate the deficiency of vitamins that have immunomodulatory properties. While developing the technology for the pita bakery product, dough has been prepared from a mixture of high-grade rye and wheat flour in equal quantities. As a source of vitamins that have a beneficial effect on the human immune system, a solution of pine needles has been added instead of half the amount of water. As a source of vitamin C, black currant and cranberry puree are used in the ratio of 1 : 1. An additional source of nutrients with immunomodulatory properties is dry ginger root powder added to the stuffing in an amount of 2 % by weight of the stuffing. Apple pectin has been used to stabilize the stuffing. A solution of pine needles is prepared by mixing an alcoholic infusion of pine needles and an aqueous decoction of pine needles in a ratio of 1 : 4. The pine needle solution has been used to replace half the amount of water used to prepare the dough. The developed bakery product "Pita with berry stuffing" is prepared with a ratio of pita to stuffing of 1 : 2 by weight. The developed bakery product can be recommended for stimulating and strengthening the immune system due to the additional inclusion of vitamins (C, K, A, B2, B6, B12) in the diet with beneficial effect on the human immune system, including for residents of the northern regions of Russia.

For citation

Posnova, G. V. et al. 2024. Development of technology for pita bread with increased nutritional value. *Vestnik of MSTU*, 27(3), pp. 400–411. (In Russ.) DOI: <https://doi.org/10.21443/1560-9278-2024-27-3-400-411>.

Введение

Иммунитет представляет собой систему, защищающую организм человека от негативного воздействия естественной среды обитания и антропогенных внешних факторов, препятствующую развитию и размножению болезнетворных микроорганизмов и поддерживающую генетическое постоянство организма. Наблюдения показывают, что у примерно 70 % населения, проживающего в крупных городах и некоторых регионах РФ, присутствуют признаки снижения иммунитета (*Саяпина и др., 2017*). В большей степени это связывают с неправильным и несбалансированным питанием, в частности, с недостатком витаминов и микроэлементов (*Троценко, 2016; Iddir et al., 2020*). Дефицит витаминов в питании современного человека является наиболее распространенной причиной нарушения неспецифической резистентности организма человека к неблагоприятным факторам окружающей среды, снижающей его адаптационный потенциал. Полигиповитаминозные состояния обнаруживаются почти у половины всего взрослого населения России и мира (*Коденцова и др., 2018; Darnton-Hill, 2019*). Наиболее простым способом снижения риска проявления проблем с иммунитетом, особенно в весенне-осенний период, является своевременная профилактика, в том числе с помощью введения в рацион продуктов питания с повышенной пищевой ценностью (*Кучергин, 2022*).

Частые простудные заболевания, высыпания герпеса на губах, продолжительное повышение температуры, синдром хронической усталости, сонливость или бессонница, болевые ощущения в суставах и мышцах, нарушения сна, частые головные боли, появление высыпаний на коже – признаки снижения иммунной активности организма человека. Отмечается, что здоровое состояние организма наполовину зависит от образа жизни человека (*Аралова и др., 2017; Mirowsky et al., 2015*).

Поддержание оптимального нутриентного статуса организма является немаловажным фактором. Иммуномодуляторы – это разнородные биологически активные вещества, влияющие на иммунную систему либо участвующие в ее функционировании. Наиболее активными иммуномодуляторами являются витамины, необходимые для активации работы иммунных систем. Для укрепления и поддержания иммунитета необходимо придерживаться следующих рекомендаций: ежедневное потребление продуктов – источников иммуномодуляторов – овощей, фруктов и ягод, корней трав и растений, поддержание здорового образа жизни.

Многими исследователями отмечается, что для правильной работы иммунной системы необходимыми являются витамины А, С, Е, В12, В6, D, К, фолиевая кислота. Восполнение дефицита витаминов в организме оказывает заметное положительное влияние на иммунную систему. Такими свойствами, например, обладает витамин А. Витамин Е, имея выраженные антиоксидантные свойства, препятствует снижению клеточного иммунитета при старении или на фоне хронических заболеваний, улучшает циркуляцию крови и регенеративные свойства организма. Витамин С при ежедневном употреблении не менее 150 мг способствует усилению синтеза антител и пролиферации лимфоцитов, чем снижает интенсивность симптомов проявления и тяжести течения аденовирусных инфекций (*Саяпина и др., 2017; Балабаева и др., 2020*). Иммуномодулирующие функции витамина К связаны с регуляцией клеточного выживания, улучшением свойств тромбоцитов, ингибирующем влиянием на выделение воспалительных цитокинов и четкой дифференциации естественных киллеров (*Загайнова и др., 2019*). Установлено, что добавление витамина К1 в рацион значительно снижало экспрессию воспалительных маркеров ИЛ-6 и ФНОα у животных (*Ohsaki et al., 2006*). Полученные данные позволяют экстраполировать проявленный эффект и на организм человека. Роль других витаминов группы В и D в поддержании иммунной системы можно рассматривать как опосредованную, связанную с поддержанием естественного баланса метаболитов и нормального уровня основополагающих гормонов (*Ащеулова и др., 2023; Елисеева и др., 2019*).

В РФ установлены следующие рекомендуемые нормы суточного потребления витаминов: С – 100 мг, Е – 15 мг, А – 800–900 мкг, К – 120 мкг, В2 – 1,8 мг, В6 – 2 мг, В12 – 3 мг, D – 15–20 мкг, однако данные могут отличаться от представленных норм в зависимости от индивидуальных особенностей организма, пола, возраста, состояния здоровья (*Аралова и др., 2017*).

В России достаточно активно ведутся разработки по расширению ассортимента хлебобулочных и кондитерских изделий с введением различных витаминных комплексов, при этом данные продукты могут содержать избыток сахара, жиров, натрия и других компонентов, необходимых для обеспечения их высоких потребительских свойств. Подобные продукты максимально приближены по своим свойствам к традиционным, однако при этом возможна передозировка микронутриентами, особенно при несоблюдении рекомендаций по их употреблению и одновременном приеме биологически активных добавок. Наиболее рациональным в таком случае будет являться применение в качестве источников нутриентов натурального сырья, являющегося источником витаминов и биологически активных веществ. Продукты питания с повышенной пищевой ценностью будут способствовать снижению частоты заболеваний, связанных с дефицитом питательных веществ, поддержанию заданного уровня микронутриентов, улучшению процесса пищеварения, укреплению иммунитета (*Митин и др., 2022; Баласанян, 2024*). Включение в рецептуру ингредиентов, содержащих комплекс биологически активных веществ, позволит получить хлебобулочные изделия,

которые можно рекомендовать для включения в рацион с целью поддержания здорового состояния организма человека.

Материалы и методы

С целью подбора рецептурных компонентов был проведен анализ литературных данных химического состава и влияния на организм 10 наиболее распространенных природных источников биологически активных веществ – чабреца, лимонника дальневосточного, цистанхе, лука репчатого, клюквы, черноплодной рябины, шиповника, хвои сосны, корня американского женьшеня. Анализ литературных данных химического состава проводили с учетом нескольких критериев: содержания витаминов А (и β-каротина), С, Е, К, группы В; наличия подтвержденных данных о положительном влиянии на состояние иммунной системы; доступности и стоимости сырья; технологических свойств сырья.

Раствор хвои сосны с целью извлечения водо- и жирорастворимых веществ готовили путем смешивания спиртового настоя хвои и водного отвара хвои в соотношении 1 : 4. Предварительно хвою измельчали на мельнице ножевой РМ-120 до размера частиц не более 15 мм. Извлечение жирорастворимых биологически активных веществ проводили путем приготовления спиртового настоя хвои сосны. Для этого измельченную хвою заливали пятикратным количеством 40%-го этилового спирта и настаивали в течение 8 суток при комнатной температуре. Полученный настоем сливали и фильтровали для удаления взвешенных частиц. Водный отвар хвои сосны готовили с целью выделения водорастворимых веществ путем заваривания измельченной хвои кипящей водой в соотношении 1 : 10 с последующим постепенным охлаждением и настаиванием в течение 12 ч при комнатной температуре. Полученный водный отвар сливали, тщательно отжимали и смешивали с приготовленным ранее спиртовым настоем.

Тесто для образцов хлебобулочного изделия питы замешивали в лабораторной тестомесильной машине У1-ЕТВ из смеси муки ржаной хлебопекарной обдирной и муки пшеничной хлебопекарной высшего сорта в равном соотношении, раствора соли, дрожжевой суспензии и воды либо раствора хвои в течение 8–10 мин. Брожение теста осуществляли в течение 3–3,5 ч при температуре 28–35° в термостате ТВ-20-ПЗ-К. Далее тесто разделяли на куски массой 80 г, формовали из них круглые заготовки толщиной 0,3 см, укладывали на противни, предварительно смазанные подсолнечным маслом. Расстойку тестовых заготовок осуществляли в течение 30–60 мин при температуре 35–45°. Изделие выпекали при температуре 265° в течение 3–4 мин с пароувлажнением. Окончательная расстойка и выпечка производились в печи конвекционной CRV FPF 40*605G с камерой для брожения теста.

В процессе работы были исследованы следующие образцы питы:

- образец 1 (контрольный), приготовленный с использованием воды на замес теста;
- образец 2 – приготовленный с заменой 50 % воды при замесе теста на раствор хвои;
- образец 3 – приготовленный с заменой всего количества воды при замесе теста на раствор хвои.

Рецептуры всех образцов питы представлены в табл. 1.

Таблица 1. Рецептуры образцов питы
Table 1. Pita sample recipes

Наименование сырья	Расход сырья, г на 150 г готовой продукции для приготовления образцов питы		
	Образец 1 (контрольный)	Образец 2	Образец 3
Мука ржаная обдирная	50	50	50
Мука пшеничная высшего сорта	50	50	50
Дрожжи прессованные	4,5	4,5	4,5
Соль пищевая	1,5	1,5	1,5
Вода питьевая	70	35	–
Раствор хвои сосны	–	35	70
Масса теста	176	176	176

Органолептическая оценка хлебобулочного изделия проводилась в соответствии с ГОСТ 5667-2022¹ по 5-балльной шкале. При этом оценивали образцы питы по следующим показателям: внешний вид, состояние поверхности, наличие полости, цвет, вкус, запах, общее впечатление.

Определение влажности мякиша питы проводили гравиметрическим методом по ГОСТ 21094-2022², кислотности – поверочным арбитражным методом по ГОСТ 5898-2022³.

¹ ГОСТ 5667-2022. Изделия хлебобулочные. Правила приемки, методы отбора образцов, методы определения органолептических показателей и массы изделий. М., 2022.

² ГОСТ 21094-2022. Изделия хлебобулочные. Методы определения влажности. М., 2022.

³ ГОСТ 5898-2022. Изделия кондитерские. Методы определения кислотности и щелочности. М., 2022.

В работе были изучены три экспериментальных образца ягодных начинок для питы:
– образец начинки 1 изготавливался на основе пюре из клюквы и порошка корня имбиря в соотношении 100 : 1;
– образец начинки 2 содержал пюре клюквы и черной смородины в соотношении 1 : 2 и добавляли 1 % имбиря к массе пюре;
– в образец начинки 3 вносили пюре из клюквы и черной смородины в соотношении 1 : 1 и добавляли 2 % имбиря к массе пюре.
Рецептуры начинок представлены в табл. 2.

Таблица 2. Рецепт экспериментальных образцов начинок для питы
Table 2. Recipe for experimental samples of pita fillings

Наименование сырья	Расход сырья на загрузку, г на 300 г начинки		
	Образец начинки 1	Образец начинки 2	Образец начинки 3
Клюква, пюре	300	100	150
Черная смородина, пюре	–	200	150
Пектин	30	30	30
Сахар белый	150	150	150
Корень имбиря, сухой порошок	3	3	6
Выход	300	300	300

Для приготовления начинок сухой пектин смешивали с сахаром в соотношении 1 : 1 по массе, заливали водой в соотношении 1 : 5 от массы полученной смеси сахара и пектина и оставляли на 20 мин для набухания. В емкость с ягодным пюре добавляли смесь набухшего пектина с сахаром и оставшееся количество сахара, уваривали рецептурную смесь до температуры 106–108°. После этого массу терпировали до температуры 40–45° и добавляли молотый корень имбиря. Готовую массу использовали для приготовления питы с ягодной начинкой. Начинку вносили в готовую охлажденную питу в соотношении на 1 часть питы 2 части начинки.

Пищевую ценность готового продукта определяли расчетным методом по методике, разработанной в Научно-исследовательском институте хлебопекарной промышленности по определению химического состава и энергетической ценности хлебобулочных изделий с использованием справочных таблиц⁴. Сравнение степени удовлетворения суточной потребности при употреблении 100 г изделия вели в соответствии с МР 2.3.1.0253-2021 "Нормы физиологических потребностей в энергии и пищевых веществах для различных групп населения Российской Федерации"⁵.

Результаты и обсуждение

К наиболее распространенным природным источникам нутриентов, оказывающих влияние на иммунную систему, и, соответственно, участвующих в формировании здорового состояния организма, относятся чабрец, лимонник дальневосточный, цистанхе, лук репчатый, клюква, черноплодная рябина, шиповник, хвоя сосны, корень американского женьшеня. Анализ количественного и качественного состава витаминов, оказывающих благоприятное влияние на формирование здорового состояния организма, содержащихся в наиболее распространенных растительных источниках, представлен в табл. 3 (Киреева и др., 2023; Винокурова и др., 2016; Кротова и др., 2014; Бердимбетова и др., 2022; Zhou et al., 2023; Гапурова и др., 2018; Яшин и др., 2022; Причко и др., 2014).

Таблица 3. Витаминный состав растительного сырья, обладающего иммуномодулирующими свойствами
Table 3. Vitamin composition of plant materials with immunomodulatory properties

Наименование растительного сырья	Содержание витамина / провитамина, мг							
	С	Е	А	К	В2	В6	В12	β-каротин
Чабрец	160,1	сл.	0,238	сл.	0,471	0,342	сл.	2,85
Шиповник	650,0	1,7	0,434	сл.	сл.	сл.	сл.	сл.
Лимонник дальневосточный	18,4	сл.	сл.	сл.	0,87	0,245	сл.	сл.
Лук репчатый	12,0	0,18	сл.	0,0038	0,1	1,6	сл.	0,011

⁴ 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. М. : ГНУ ГОСНИИ хлебопекарной пром-сти, 2008. 214 с. EDN: QNHMGZ.

⁵ Нормы физиологических потребностей в энергии и пищевых веществах для различных групп населения Российской Федерации. Методические рекомендации МР 2.3.1.0253-21 : утв. Федеральной службой по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека 22 июля 2021 г. URL: <https://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/402716140/?ysclid=ly2ocwanwl961325055>.

Клюква	15,0	1,0	0,003	0,0051	0,02	0,08	сл.	0,036
Черная смородина	200,0	0,7	0,017	0,0001	0,04	0,13	сл.	0,1
Хвоя сосны	2,0	2,0	0,540	2,0	0,5	0,2	2,0	20,0
Корень женьшеня	40,0	10,0	сл.	сл.	1,4	1,4	2,0	сл.
Корень имбиря	0,7	сл.	0,002	0,0008	0,17	0,626	сл.	0,018

Как показывают данные, приведенные в табл. 3, наибольшим содержанием витамина К отличается хвоя сосны, которая дополнительно содержит значительное количество витамина А и β-каротина, однако с учетом специфического ярко выраженного вкуса хвою в продукты питания можно вносить лишь в небольших количествах.

Клюква и черная смородина могут служить источниками витаминов Е и С, однако их невозможно внести в рецептуру пшеницы в свежем виде в количествах, обеспечивающих адекватное потребление перечисленных витаминов без ухудшения органолептических свойств изделия. Кроме того, для повышения сохранности витамина С в готовом продукте нежелательна длительная технологическая и термическая обработка, поэтому внесение в тесто пюре из ягод с целью повышения содержания аскорбиновой кислоты нецелесообразно. Наиболее приемлемым в данном случае представляется внесение ягодного пюре в виде готовой начинки для пшеницы.

Ржаная обдирная мука содержит больше витаминов и минеральных веществ в сравнении с мукой пшеничной высшего сорта – пищевых волокон в 3,5 раза, кальция в 1,9, магния в 3,7, железа в 2,9 раза, α-токоферола и витаминов группы В в 1,5 и более раз⁶, что говорит о целесообразности замены в рецептуре пшеницы части муки пшеничной на ржаную обдирную.

С целью оценки технологических свойств хвои сосны и возможности ее применения в производстве пшеницы определяли ее органолептические показатели, которые представлены в табл. 4.

Таблица 4. Органолептические показатели качества хвои сосны
Table 4. Organoleptic quality indicators of pine needles

Наименование	Показатель
Внешний вид	Иглы длиной 2–5 см
Вкус	Горький с вяжущим послевкусием
Цвет	Бледно-зеленый, местами светло-желтый
Запах	Хвойный, ярко выраженный

Таким образом, хвоя сосны обладает выраженным горьким вкусом и вяжущим послевкусием. При использовании в качестве ингредиента для хлебобулочных изделий она требует измельчения в тонкодисперсный порошок, а значит, ее применение в нативном виде будет затруднено. С целью максимального извлечения микронутриентов хвою сосны применяли в форме раствора, изготовленного путем смешивания водного отвара и спиртового настоя (рис. 1). Результаты физико-химической и органолептической оценки водного отвара хвои сосны, спиртового настоя и раствора хвои представлены в табл. 5.



Рис. 1. Внешний вид раствора хвои
Fig. 1. Appearance of pine needle solution

⁶ Скурихин И. М., Тутельян В. А. Таблицы химического состава и калорийности российских продуктов питания. М.: ДеЛи принт, 2007. 276 с.

Таблица 5. Органолептические и физико-химические показатели качества полуфабрикатов из хвои сосны
 Table 5. Organoleptic and physico-chemical quality indicators of semi-finished products from pine needles

Наименование показателя	Водный отвар хвои	Спиртовой настой хвои	Раствор хвои
Внешний вид	Слегка мутноватый с небольшим осадком на дне	Прозрачная жидкость	Слегка мутноватый с небольшим осадком на дне
Вкус	Хвойный с древесным оттенком и легким горьким и вяжущим послевкусием. "Хвойный" – характеристика вкуса, принятая для оценки специфического вкуса всех продуктов из хвойных пород деревьев (пихты, сосны можжевельника и др.), как "сладкий", "кислый", "соленый". Настаиваем на использовании этого термина	Спиртовой с выраженным хвойным, древесным, горьким оттенками	Хвойный, с древесным оттенком, горьким и легким спиртовым привкусом
Цвет	Светло-желтый	Желто-коричневый	Светло-желтый
Запах	Хвойный, ярко выраженный	Спиртовой и хвойный, ярко выраженный	Хвойный, ярко выраженный
Кислотность, град	0,8 ± 0,04	1,7 ± 0,08	1,0 ± 0,05
Массовая доля сухих веществ, %	2,8 ± 0,14	5,67 ± 0,28	3,85 ± 0,19

Наиболее мягким вкусом из представленных в табл. 5 полуфабрикатов из хвои сосны обладал водный отвар хвои. Водный отвар хвои характеризовался отсутствием ярко выраженного горького вкуса и вяжущего послевкусия и наименьшим количеством сухих веществ и кислотностью. Вместе с тем для выполнения целей работы он не подходит, поскольку не содержит жирорастворимые вещества, также обладающие иммуномодулирующими свойствами. В отличие от хвои в исходном состоянии и спиртового настоя, водный отвар хвои имеет менее выраженный горький вкус, светло-желтый цвет и приятный запах, поэтому может использоваться в качестве ингредиента при производстве хлебобулочного изделия с иммуномодулирующими свойствами.

Спиртовой настой хвои отличается большим содержанием сухих и кислореагирующих веществ в сравнении с водным отваром. Предположительно, это связано с тем, что в процессе приготовления отвара хвои выделяются в основном водорастворимые вещества, а при изготовлении настоя хвои 40 % спиртовым раствором одновременно водо- и жирорастворимые вещества, поэтому массовая доля сухих веществ в последнем больше. Жирорастворимые вещества хвои, извлекаемые спиртом, такие как эфирные масла, терпены, фитол, жирные и смоляные кислоты, обладают кислой реакцией среды, поэтому настой хвои сосны имеет значительно большую кислотность по сравнению с отваром хвои, кислотность которого обеспечивается наличием органических кислот (яблочной, лимонной, щавелевой, хинной, шикимовой) (Нищевская и др., 2022). Соответственно, раствор хвои обладает средней кислотностью 1 град. В процессе приготовления хлебобулочных изделий на основе ржаной муки применение подкислителей способствует улучшению реологических свойств теста и повышению качества продукции, поэтому применение раствора хвои можно рассматривать не только в качестве ингредиента, повышающего пищевую ценность, но и в качестве улучшителя качества.

Результаты определения органолептических и физико-химических показателей качества питы с добавлением раствора хвои в сравнении с контрольным образцом представлены в табл. 6, а также на рис. 2 и 3.

Как показывают данные, представленные в табл. 6, раствор хвои не оказывал значительного отрицательного влияния на органолептические и физико-химические показатели питы. Образовавшаяся полость внутри изделия хорошо видна у контроля и образца 2, у образца 3 наблюдалось образование 2–3 малых полостей, отделенных друг от друга. За счет внесения раствора хвои все опытные образцы имели хвойный аромат и привкус, более ярко выраженный в образце 3. По результатам дегустационной оценки максимальную оценку получил образец 1. При увеличении количества воды, замененной на раствор хвои,

имеющий повышенную кислотность, наблюдалась тенденция к увеличению кислотности на 10 и 25 % соответственно, что не оказывало значительного влияния на вкус питы и не превышало допустимых пределов кислотности мякиша хлебобулочных изделий. Влажность изделий с раствором хвои на 5 и 7 % выше по сравнению с образцом 1 (контрольным), что, вероятно, связано с присутствием в растворе водоудерживающих веществ, перешедших из хвои.

Таблица 6. Показатели качества экспериментальных образцов питы с раствором хвои в сравнении с контрольным образцом
Table 6. Quality indicators of experimental pita samples with pine needle solution in comparison with the control sample

Наименование показателя	Образец 1 (контрольный)	Образец 2	Образец 3
Органолептические показатели			
Форма	Овальная, соответствует форме лепешки, без боковых выплывов		
Поверхность	Гладкая, без трещин и подрывов, не загрязнена		
Цвет	Светло-коричневый		
Вкус	Выраженный, характерный для данного вида изделия	С легким привкусом хвойного отвара	С выраженным привкусом хвойного отвара и незначительной горчинкой в послевкусии
Запах	Выраженный, свойственный для данного вида изделия	Легкий запах хвойного отвара	Ярко выраженный запах хвойного отвара
Наличие полости	Полость присутствует по всей ширине изделия, слаборазвитая	Равномерная развитая полость по всей ширине изделия	Полость неравномерная, слаборазвитая
Физико-химические показатели			
Влажность, %	29 ± 1,45	34 ± 1,7	36 ± 1,8
Кислотность, град	2 ± 0,10	2,2 ± 0,11	2,5 ± 1,2



Рис. 2. Внешний вид и вид на изломе контрольного и экспериментальных образцов питы
Fig. 2. Appearance and fracture view of control and experimental pita samples

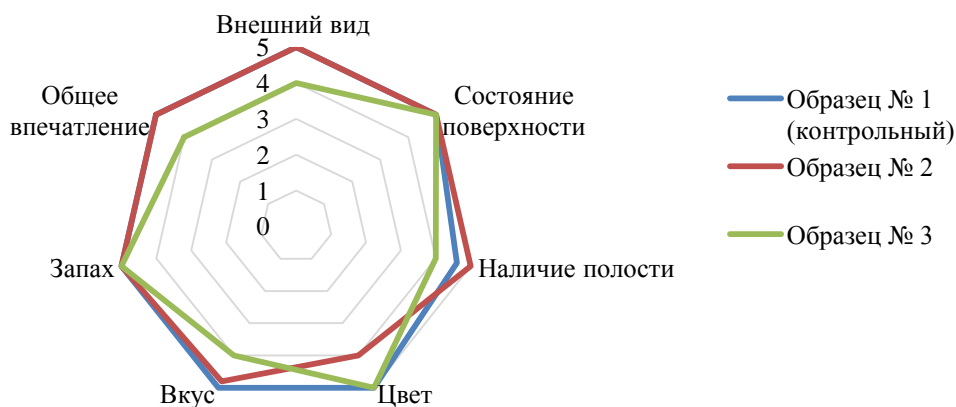


Рис. 3. Балльная оценка дегустационной оценки образцов питы с добавлением раствора хвои в сравнении с контрольным образцом
 Fig. 3. Scoring of the tasting evaluation of pita samples with the addition of pine needle solution in comparison with the control sample

Органолептические и физико-химические показатели ягодной начинки на основе пюре клюквы и черной смородины с добавлением сухого корня имбиря, представлены в табл. 7 и на рис. 4.

Таблица 7. Показатели качества образцов начинок для питы
 Table 7. Quality indicators of samples of pita fillings

Наименование показателя	Образец начинки 1	Образец начинки 2	Образец начинки 3
Органолептические показатели			
Цвет	Темно-красный	Темно-фиолетовый	Малиновый
Вкус	Слабо выраженный ягодный вкус, без посторонних привкусов	Насыщенный, без посторонних привкусов. Не гармоничный. Не сладкий	Ярко выраженный вкус черной смородины в сочетании с легкой кислинкой клюквы и легким привкусом имбиря
Запах	Слабо выраженный ягодный без посторонних запахов	Насыщенный запах черной смородины без посторонних запахов	Ярко выраженный запах черной смородины без посторонних запахов
Консистенция	Вязкая полужидкая	Вязкая пластичная	Вязкая полужидкая
Физико-химические показатели			
Влажность, %	19,0 ± 0,95	18,8 ± 0,94	18,6 ± 0,93
Кислотность, град	2,4 ± 0,12	2,7 ± 0,14	2,3 ± 0,12

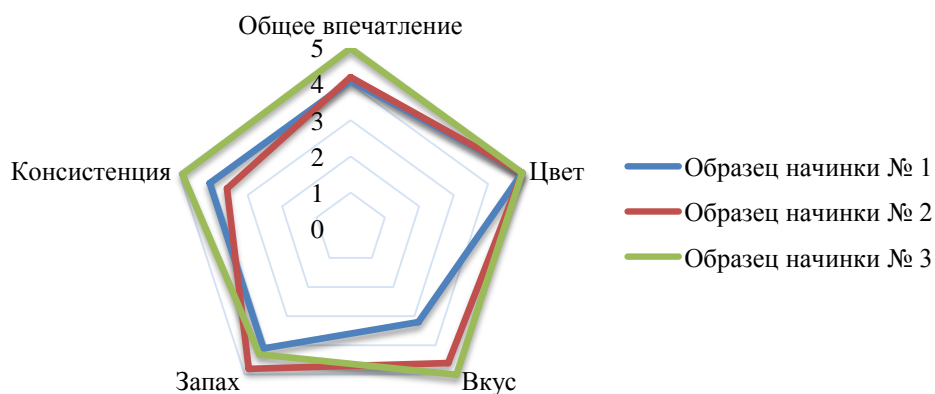


Рис. 4. Балльная оценка образцов начинки для питы
 Fig. 4. Scoring of samples of pita filling

По консистенции вязкость образцов начинки 2 и 3 близка к оптимальной, а у образца начинки 1 – излишне плотная. Вкусовые достоинства начинок тоже отличаются, образец начинки 1 имел нейтральный вкус и аромат, образец начинки 2 – очень яркий и насыщенный вкус и аромат, а наиболее гармоничным вкусом обладал образец начинки 3, получивший максимальную балльную оценку. Как показывают данные табл. 7, влажность начинки не превышала 20 %, поэтому она не будет придавать липкость и неприятной вкус готовому продукту. Благодаря более низкой кислотности, образцы начинки 1 и 3 имели лучшую консистенцию за счет ограниченного студнеобразования пектина.

На основе образца 1 и образца начинки 3 было приготовлено хлебобулочное изделие "Пита с ягодной начинкой" при соотношении массы охлажденной после выпечки питы к массе начинки 1 : 2 (рис. 5). Пищевую ценность разработанного образца питы с начинкой и контрольного образца питы (табл. 8) определяли расчетным путем и сравнивали с формулой сбалансированного питания и выражали в процентах от средней суточной потребности взрослого человека в основных веществах и энергии в соответствии с Методическими рекомендациями МР 2.3.1.0253-21 "Нормы физиологических потребностей в энергии и пищевых веществах для различных групп населения Российской Федерации"⁷.



Рис. 5. Внешний вид хлебобулочного изделия "Пита с ягодной начинкой"

Fig. 5. Appearance of the bakery product "Pita with berry filling"

Таблица 8. Пищевая ценность хлебобулочных изделий "Пита с ягодной начинкой" в сравнении с контрольным образцом

Table 8. Nutritional value of bakery products "Pita with berry filling" in comparison with the control sample

Показатель	Суточная потребность		Содержание в 100 г продукта		Степень удовлетворения суточной потребности, %			
			Контроль	Пита с ягодной начинкой	Контроль		Пита с ягодной начинкой	
	муж	жен			муж	жен	муж	жен
Белки, г	80	70	6,75	4,7	8,4	9,6	5,8	6,7
Жиры, г	95	80	0,94	0,77	1,0	1,2	0,8	0,9
Углеводы, г	400	336	44,13	60,7	11,0	13,1	15	16,5
Пищевые волокна, г	25		4,87	10,9	19,5		43,6	
Рибофлавин В2, мг	1,8		0,07	0,11	3,9		6	
Пиридоксин В6, мг	2		0,16	0,94	8		47	
Кобаламин В12, мкг	3		0	0,23	0		7,5	
Филлохинон К, мкг	120		0,49	247	0,4		205	
Ретинол А, мкг	900	800	0	67	0	0	7,4	8,3
Токоферол Е, мг	15		1,13	4	7,5		26,6	
Аскорбиновая кислота С, мг	100		3,3	68	3,3		68	
ЭЦ, ккал	2 600	2 300	212	268	8,15	11,5	10	11,5

Образец питы 1 (контрольный) по сравнению с разработанным изделием, изготовленным из образца 2 и образца начинки 3, содержит белка больше на 30 % и жиров на 22 %, имеет меньшую энергетическую ценность на 56 ккал. Однако разработанное изделие "Пита с ягодной начинкой" содержит большее

⁷ Нормы физиологических потребностей в энергии и пищевых веществах для различных групп населения Российской Федерации. Методические рекомендации МР 2.3.1.0253-21 : утв. Федеральной службой по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека 22 июля 2021 г. URL: <https://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/402716140/?ysclid=ly2ocwanwl961325055>.

количество пищевых волокон в 2,2 раза, витаминов (В2 в 1,6, В6 в 5,8, Е в 3,5, С более чем в 20 и К более чем в 200 раз), в том числе имеет большее содержание витаминов В12 и А. Как показывают данные табл. 7, 100 г разработанного хлебобулочного изделия "Пита с ягодной начинкой", обогащенного иммуномодуляторами, покрывает потребность взрослого человека в веществах, поддерживающих здоровье организма и положительно влияющих на иммунитет в следующих количествах: витамин С – на 68 %, витамин К – более 200, витамин А – на 7,8, витамин В2 – на 6, витамин В6 – на 47, витамин В12 – на 7,5, а также в пищевых волокнах – на 36 %.

Выводы

В результате проведенного исследования подтверждена целесообразность внесения раствора хвои сосны в тесто, а пюре из ягод клюквы и черной смородины с добавлением корня имбиря в начинку при разработке технологии хлебобулочного изделия питу повышенной пищевой ценности, содержащей нутриенты, обладающие иммуномодулирующими свойствами.

Обосновано приготовление раствора хвои, состоящего из спиртового настоя и водного отвара хвои в соотношении 1 : 4 для наибольшего извлечения водо- и жирорастворимых веществ при внесении хвои сосны в качестве источника витаминов, оказывающих благоприятное воздействие на иммунную систему человека. В ходе проведенных исследований было определено оптимальное соотношение раствора хвои и воды в тесто для питу, составляющее 1 : 1, при котором готовое изделие отличалось наилучшими органолептическими показателями.

По результатам проведенных исследований рекомендовано приготовление ягодной начинки для питу из пюре клюквы и черной смородины в соотношении 1 : 1 и сухого тертого корня имбиря в количестве 2 % к массе начинки.

Таким образом, разработанную питу с начинкой можно рекомендовать для стимулирования и укрепления иммунитета за счет дополнительного включения в рацион витаминов (С, К, А, В2, В6, В12), оказывающих благоприятное воздействие на иммунную систему человека.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Библиографический список

- Аралова А. Ю., Потапова Ю. О., Бельчинский В. В. Здоровый образ жизни как основа для занятий физической культурой и спортом. Структура и основные пути формирования здорового образа жизни у спортсменов и физкультурников // Молодежный инновационный вестник. 2017. Т. 6, № 2. С. 271–273. EDN: YTOZFH.
- Ащеулова В. В., Углова Е. В., Юшманова А. А. Рациональное питание в условиях Севера, роль ключевых витаминов // Бюллетень Северного государственного медицинского университета. 2023. № 2(50). С. 4–8. EDN: LOBOZU.
- Балабаева Е. С., Муртазина Л. Р. Витамины Е и К и их применение в клинической практике // Бюллетень медицинских интернет-конференций. 2020. Т. 10, № 1. С. 13–14. EDN: LOXKEQ.
- Баласанян С. Ю. Обогащенные продукты питания стратегии улучшения пищевой ценности // Инновационная наука. 2024. № 1–1. С. 12–21. EDN: BCWCKA.
- Бердимбетова Г. Е., Оразова Ш. Ш. Элементный состав цистанхе солончаковой (*Cistanchesalsa*) произрастающей в Республике Каракалпакстан // Universum: химия и биология. 2022. № 5–2(95). С. 41–46. DOI: <https://doi.org/10.32743/unichem.2022.95.5.13600>. EDN: BGCUBI.
- Винокурова О. А., Тринеева О. В., Сливкин А. И. Сравнительная характеристика различных видов тимьяна: состав, свойства, применение (обзор) // Разработка и регистрация лекарственных средств. 2016. № 4(17). С. 134–150. EDN: TARTXX.
- Гапурова М., Мухортова У., Громова Н. В. Химический состав и пищевая ценность лука репчатого // Аграрная наука, творчество, рост : сб. науч. тр. по материалам VIII Междунар. науч.-практ. конф. (г. Ставрополь, Ставропольский ГАУ, 8–10 февраля 2018 г.) : секция факультетов агробиологии и земельных ресурсов, экологии и ландшафтной архитектуры "Применение современных ресурсосберегающих инновационных технологий в АПК" : материалы и доклады. Ставрополь : Секвойя, 2018. С. 87–89. EDN: XSIJHN.
- Елисеева Т., Мироненко А. Витамины группы В – описание, польза, влияние на организм и лучшие источники // Журнал здорового питания и диетологии. 2019. Т. 2, № 8. С. 74–87. DOI: <https://doi.org/10.59316/.vi8>.
- Загайнова В. А., Беспалова О. Н. Противовоспалительные эффекты витамина К и здоровье женщины // Журнал акушерства и женских болезней. 2019. Т. 68, № 5. С. 107–114. DOI: <https://doi.org/10.17816/jowd685107-114>. EDN: WYDZJY.
- Киреева А. Р., Шелехов А. Д. Экстракты из хвои сосны обыкновенной и подорожника большого как источники антиоксидантов // Химические проблемы современности 2023 : сб. материалов VII междунар. науч. конф. студентов, аспирантов и молодых ученых, Донецк, 16–18 мая 2023 г. Донецк : Изд-во ДНУ, 2023. С. 176–178. EDN: LSLPXD.

- Коденцова В. М., Бекетова Н. А., Никитюк Д. Б., Тутельян В. А. Характеристика обеспеченности витаминами взрослого населения Российской Федерации // Профилактическая медицина. 2018. Т. 21, № 4. С. 32–37. DOI: <https://doi.org/10.17116/profmed201821432>. EDN: XWPIXR.
- Кротова И. В., Пьянков Д. Г. Специализированные пищевые продукты на основе плодов лимонника китайского // Вестник КрасГАУ. 2014. № 4(91). С. 254–257. EDN: SFDTAT.
- Кучергин Н. И. Факторы, влияющие на иммунитет человека, и способы его укрепления // Молодой ученый. 2022. № 2(397). С. 60–62. EDN: HYNDWH.
- Митин С. Г., Чеботарев С. Н., Никитин И. А., Аничкина О. А. [и др.]. Современные тенденции в употреблении хлебопродуктов в РФ и подходы к разработке хлебобулочных изделий для здорового питания // Хлебопродукты. 2022. № 3. С. 40–45. DOI: <https://doi.org/10.32462/0235-2508-2022-31-3-40-45>. EDN: LUZIFO.
- Нициевская К. Н., Бородай Е. В. Роль хвои как биологически активного вещества растительного происхождения в производстве пищевых продуктов (патентный обзор) // Инновации и продовольственная безопасность. 2022. № 3(37). С. 36–43. DOI: <https://doi.org/10.31677/2311-0651-2022-37-3-36-43>. EDN: JFMAGD.
- Причко Т. Г., Германова М. Г. Химический состав ягод черной смородины, произрастающей на юге России // Сельскохозяйственные науки и агропромышленный комплекс на рубеже веков. 2014. № 5. С. 93–96. EDN: RXWNDL.
- Саяпина А. С., Пьяникова Э. А. Рациональное употребление пищи и его роли в системе организма // Технологии производства пищевых продуктов питания и экспертиза товаров : сб. науч. ст. 3-й междунар. науч.-практ. конф., Курск, 06 апреля 2017 г. Курск: Университетская книга, 2017. С. 149–152. EDN: YMKMLZ.
- Троценко А. А. Влияние арктического климата на неспецифическую резистентность жителей Крайнего Севера // Россия в глобальном мире. 2016. № 9 (32). С. 211–218. EDN: YKPLJZ.
- Яшин А. Я., Яшин Я. И., Липеева А. В. Клюква: химический состав, биологическая активность и перспективы фармацевтического применения // Лаборатория и производство. 2022. № 3–4(21). С. 56–69. EDN: TSASDT.
- Darnton-Hill I. Public health aspects in the prevention and control of vitamin deficiencies // Current Developments in Nutrition. 2019. Vol. 3, Iss. 9. Article number: nzz075. DOI: <https://doi.org/10.1093/cdn/nzz075>.
- Iddir M., Brito A., Dingo G., Del Campo S. S. F. [et al.]. Strengthening the immune system and reducing inflammation and oxidative stress through diet and nutrition: Considerations during the COVID-19 crisis // Nutrients. 2020. Vol. 12, Iss. 6. Article number: 1562. DOI: <https://doi.org/10.3390/nu12061562>.
- Mirowsky J., Ross C. E. Education, health, and the default American lifestyle // Journal of Health and Social Behavior. 2015. Vol. 56, Iss. 3. P. 297–306. DOI: <https://doi.org/10.1177/0022146515594814>.
- Ohsaki Y., Shirakawa H., Hiwatashi K., Furukawa Y. [et al.]. Vitamin K suppresses lipopolysaccharide-induced inflammation in the rat // Bioscience, Biotechnology, and Biochemistry. 2006. Vol. 70, Iss. 4. P. 926–932. DOI: <https://doi.org/10.1271/bbb.70.926>.
- Zhou S., Feng D., Zhou Y., Duan H. [et al.]. Analysis of the active ingredients and health applications of cistanche // Frontiers in Nutrition. 2023. Vol. 10. Article number: 1101182. DOI: <https://doi.org/10.3389/fnut.2023.1101182>.

References

- Aralova, A. Yu., Potapova, Yu. O., Belchinsky, V. V. 2017. A healthy lifestyle as a basis for physical education and sports. Structure and main ways of developing a healthy lifestyle among athletes and athletes. *Youth Innovation Bulletin*, 6(2), pp. 271–273. EDN: YTOZFH. (In Russ.)
- Ashcheulova, V. V., Uglova, E. V., Yushmanova, A. A. 2023. Rational nutrition in the North, the role of key vitamins. *Byulleten Severnogo Gosudarstvennogo Meditsinskogo Universiteta*, 2(50), pp. 4–8. EDN: LOBOZU. (In Russ.)
- Balabaeva, E. S., Murtazina, L. R. 2020. Vitamins E and K and their use in clinical practice. *Bulletin of Medical Internet Conferences*, 10(1), pp. 13–14. EDN: LOXKEQ. (In Russ.)
- Balasanyan, S. Yu. 2024. Fortified food products strategies for improving nutritional value. *Innovation Science*, 1–1, pp. 12–21. EDN: BCWCKA. (In Russ.)
- Berdimbetova, G. E., Orazova, Sh. Sh. 2022. Elemental composition of *Cistanchesalsa* growing in the Republic of Karakalpakstan. *Universum: Chemistry & Biology*, 5–2(95), pp. 41–46. DOI: <https://doi.org/10.32743/unicem.2022.95.5.13600>. EDN: BGCUBI. (In Russ.)
- Vinokurova, O. A., Trineeva, O. V., Slivkin, A. I. 2016. Comparative characteristics of various types of thyme: Composition, properties, application (review). *Drug Development & Registration*, 4(17), pp. 134–150. EDN: TARTXX. (In Russ.)
- Gapurova, M., Mukhortova, U., Gromova, N. V. 2018. Chemical composition and nutritional value of onions. Coll. of scientific papers based on the materials of the VIII Intern. Scient. and Pract. Conf. *Agrarian science, creativity, growth*, Stavropol, February 8–10, 2018. Stavropol, pp. 87–89. EDN: XSIJHN. (In Russ.)
- Eliseeva, T., Mironenko, A. 2019. B vitamins – description, benefits, effect on the body and the best sources. *Journal of Healthy Nutrition and Dietetics*, 2(8), pp. 74–87. DOI: <https://doi.org/10.59316/vi8>. (In Russ.)

- Zagainova, V. A., Bespalova, O. N. 2019. Anti-inflammatory effects of vitamin K and women's health. *Journal of Obstetrics and Women's Diseases*, 68(5), pp. 107–114. DOI: <https://doi.org/10.17816/jowd685107-114>. EDN: WYDZJY. (In Russ.)
- Kireeva, A. R., Shelekhov, A. D. 2023. Extracts from Scots pine and plantain needles as sources of antioxidants. Coll. of Proc. of the VII Intern. Scient. Conf. of Students, Postgraduates and Young Scientists *Chemical Problems of Modernity 2023*, Donetsk, May 16–18, 2023. Donetsk, pp. 176–178. EDN: LSLPXD. (In Russ.)
- Kodentsova, V. M., Beketova, N. A., Nikityuk, D. B., Tutelyan, V. A. 2018. Characteristics of vitamin supply in the adult population of the Russian Federation. *Profilakticheskaya Meditsina*, 21(4), pp. 32–37. DOI: <https://doi.org/10.17116/profmed201821432>. EDN: XWPIXR. (In Russ.)
- Krotova, I. V., Pyankov, D. G. 2014. Specialized food products based on the fruits of *Schisandra chinensis*. *Bulletin of KSAU*, 4(91), pp. 254–257. EDN: SFDTAT. (In Russ.)
- Kuchergin, N. I. 2022. Factors influencing human immunity and ways to strengthen it. *Molodoi Uchonyi*, 2(397), pp. 60–62. EDN: HYNDWH. (In Russ.)
- Mitin, S. G., Chebotarev, S. N., Nikitin, I. A., Anichkina, O. A. et al. 2022. Current trends in the consumption of bakery products in the Russian Federation and approaches to the development of bakery products for a healthy diet. *Khleboprodukty*, 3, pp. 40–45. DOI: <https://doi.org/10.32462/0235-2508-2022-31-3-40-45>. EDN: LUZIFO. (In Russ.)
- Nitsievskaya, K. N., Boroday, E. V. 2022. The role of pine needles as a biologically active substance of plant origin in the production of food products (patent review). *Innovations and Food Safety*, 3(37), pp. 36–43. DOI: <https://doi.org/10.31677/2311-0651-2022-37-3-36-43>. EDN: JFMAGD. (In Russ.)
- Prichko, T. G., Germanova, M. G. 2014. Chemical composition of black currant berries growing in the south of Russia. *Agricultural Sciences and Agro-Industrial Complex at the Turn of the Century*, 5, pp. 93–96. EDN: RXWNDL. (In Russ.)
- Sayapina, A. S., Pyanikova, E. A. 2017. Rational consumption of food and its role in the body system. Coll. of articles of 3 Intern. Scient. Conf. *Technologies for the production of food products and examination of goods*. Kursk, pp. 149–152. EDN: YMKMLZ. (In Russ.)
- Trotsenko, A. A. 2016. The influence of the Arctic climate on the nonspecific resistance of residents of the Far North. *Russia in the Global World*, 9(32), pp. 211–218. EDN: YKPLJZ. (In Russ.)
- Yashin, A. Ya., Yashin, Ya. I., Lipieva, A. V. 2022. Cranberry: Chemical composition, biological activity and prospects for pharmaceutical use. *Laboratory and Production*, 3–4(21), pp. 56–69. EDN: TSASDT. (In Russ.)
- Darnton-Hill, I. 2019. Public health aspects in the prevention and control of vitamin deficiencies. *Current Developments in Nutrition*, 3(9). Article number: nzz075. DOI: <https://doi.org/10.1093/cdn/nzz075>.
- Iddir, M., Brito, A., Dingo, G., Del Campo, S. S. F. et al. 2020. Strengthening the immune system and reducing inflammation and oxidative stress through diet and nutrition: Considerations during the COVID-19 crisis. *Nutrients*, 12(6). Article number: 1562. DOI: <https://doi.org/10.3390/nu12061562>.
- Mirowsky, J., Ross, C. E. 2015. Education, health, and the default American lifestyle. *Journal of Health and Social Behavior*, 56(3), pp. 297–306. DOI: <https://doi.org/10.1177/0022146515594814>.
- Ohsaki, Y., Shirakawa, H., Hiwatashi, K., Furukawa, Y. et al. 2006. Vitamin K suppresses lipopolysaccharide-induced inflammation in the rat. *Bioscience, Biotechnology, and Biochemistry*, 70(4), pp. 926–932. DOI: <https://doi.org/10.1271/bbb.70.926>.
- Zhou, S., Feng, D., Zhou, Y., Duan, H. et al. 2023. Analysis of the active ingredients and health applications of cistanche. *Frontiers in Nutrition*, 10. Article number: 1101182. DOI: <https://doi.org/10.3389/fnut.2023.1101182>.

Сведения об авторах

Поснова Галина Владимировна – ул. Земляной Вал, 73, г. Москва, Россия, 109004; Московский государственный университет технологий и управления им. К. Г. Разумовского (Первый казачий университет), канд. техн. наук, доцент; e-mail: g.posnova@mgutm.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9594-7632>

Galina V. Posnova – 73 Zemlyanoy Val Str., Moscow, Russia, 109004; Razumovsky Moscow State University of Technology and Management (First Cossack University), Cand. Sci. (Engineering), Associate Professor; e-mail: g.posnova@mgutm.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9594-7632>

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

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

УДК 664.957.8

Сравнительный анализ физико-химических свойств сушеной продукции "КальмаKS" из кожи командорского и тихоокеанского кальмаров

А. В. Самохин*, М. В. Благоднравова, М. Е. Спирина, Л. В. Федулова

*Камчатский государственный технический университет, г. Петропавловск-Камчатский, Россия;
e-mail: alexandersamohin123@gmail.com

Информация о статье Реферат

Поступила
в редакцию
04.04.2024;

получена
после доработки
26.04.2024;

принята к публикации
22.05.2024

Ключевые слова:

функционально-
технологические
свойства,
аминокислотный
состав,
цветовые
характеристики,
белковые фракции,
коллаген I типа

Для цитирования

Современная система качественного питания населения включает использование природных соединений из вторичных продуктов животного происхождения. В ходе научного обоснования использования вторичных продуктов переработки головоногих моллюсков исследована сушеная продукция из кожи тихоокеанского и командорского кальмаров, проанализированы ее белковый и аминокислотный состав и функционально-технологические характеристики. В образцах из кожи тихоокеанского кальмара отмечено высокое содержание глутаминовой и аспарагиновой кислот (8–10 %), в образцах из кожи командорского кальмара – глицина (20 %), пролина (10 %) и аргинина. Высокие показатели растворимости, влагоудерживающей способности и стабильности пенных структур обусловлены значительным содержанием деструктурированного коллагена типа I (в образце из кожи командорского кальмара) и гидрофильных аминокислот и фрагментов коллагена типа III (в продукте из кожи тихоокеанского кальмара). Инфракрасная сушка продукции способствует денатурации и желатинизации коллагена кожи командорского кальмара, что подтверждают более яркие цветовые характеристики образцов и высокая влагосвязывающая способность при повышении температуры до 40 и 60 °С; данный факт свидетельствует об увеличении гидрофильных свойств продуктов деструкции коллагеновых фракций. Продукция из кожи, являющейся вторичным продуктом переработки кальмара, обладает высоким потенциалом для использования в пищевой промышленности в качестве водоудерживающего, жиросвязывающего, эмульгирующего компонентов.

Самохин А. В. и др. Сравнительный анализ физико-химических свойств сушеной продукции "КальмаKS" из кожи командорского и тихоокеанского кальмаров. Вестник МГТУ. 2024. Т. 27, № 3. С. 412–423. DOI: <https://doi.org/10.21443/1560-9278-2024-27-3-412-423>.

Comparative analysis of the physical and chemical properties of dried products "KalmaKS" from the skin of the Commander and Pacific squid

Alexander V. Samokhin*, Maya V. Blagonravova, Maria E. Spirina, Lily V. Fedulova

*Kamchatka State Technical University, Petropavlovsk-Kamchatsky, Russia;
e-mail: alexandersamohin123@gmail.com

Article info

Received
04.04.2024;

received
in revised
26.04.2024;

accepted
22.05.2024

Key words:

functional
and technological
properties,
amino acid
composition,
color characteristics,
protein fractions,
type I collagen

Abstract

The modern system of high-quality nutrition for the population includes the use of natural compounds from secondary products of animal origin. In the course of scientific substantiation of using secondary products from the processing of cephalopods, dried products from the skin of Pacific (*Todarodes pacificus*) and Commander squid (*Beryteuthis magister*) have been studied, their protein and amino acid composition and functional and technological characteristics have been analyzed. In samples from the skin of the Pacific squid, a high content of glutamic and aspartic acids (8–10 %) is noted; in samples from the skin of the Commander squid – glycine (20 %), proline (10 %) and arginine. High indicators of solubility, water-holding capacity and stability of foam structures are due to the significant content of type I destructured collagen (in a sample from the skin of Commander squid), and hydrophilic amino acids and type III collagen fragments (in a product made from Pacific squid skin). Infrared drying of products promotes denaturation and gelatinization of collagen in the skin of Commander squid, which is confirmed by the brighter color characteristics of the samples and high moisture-binding capacity when the temperature rises to 40 and 60 °С; this fact indicates an increase in the hydrophilic properties of the products of destruction of collagen fractions. Products made from skin, which is a secondary product of squid processing, have high potential for use in the food industry as water-retaining, fat-binding, and fat-emulsifying components.

For citation

Samokhin, A. V. et al. 2024. Comparative analysis of the physical and chemical properties of dried products "KalmaKS" from the skin of the Commander and Pacific squid. *Vestnik of MSTU*, 27(3), pp. 412–423. (In Russ.) DOI: <https://doi.org/10.21443/1560-9278-2024-27-3-412-423>.

Введение

Рыбная промышленность является динамично развивающейся отраслью России. Рыбохозяйственный комплекс вносит существенный вклад в социально-экономическое развитие страны, обеспечивает население экологически чистыми и безопасными продуктами питания высокой биологической ценности, поставляет ценные природные соединения для нужд фармакологической и биотехнологической промышленности, снабжает животноводческие хозяйства кормовой продукцией высокого качества.

Стратегия развития рыбохозяйственного комплекса предполагает решение задач, направленных на повышение конкурентоспособности отечественной рыбной продукции, рациональное использование водных биологических ресурсов, обеспечение продовольственной независимости РФ. Современная система качественного питания населения включает использование природных соединений из вторичных продуктов животного происхождения, что позволяет расширять ассортимент и улучшать качество пищевых продуктов, обеспечивая потребности населения в сбалансированном и оптимальном по цене рационе питания.

По данным Продовольственной и сельскохозяйственной организации ООН, мировой улов кальмаров в период 2017–2021 гг. состоял из более 30 видов и варьировался от 2,1 до 2,7 млн т в год. В северо-западной части Тихого океана рыбаками Российской Федерации в ходе специализированного промысла ведется добыча тихоокеанского (*Todarodes pacificus*) и командорского (*Berryteuthis magister*) кальмаров. Командорский кальмар промышленно осваивается только в российских водах и входит в число промысловых объектов, на которые устанавливаются ежегодные объемы общего допустимого улова (ОДУ) (объем вылова командорского кальмара составляет в среднем 110 тыс. т). Для тихоокеанского кальмара ввиду низких уловов в последние годы (3–7 тыс. т) ОДУ не устанавливаются. В Дальневосточном рыбохозяйственном бассейне, согласно статистическим данным Росрыболовства, в период 2012–2023 гг. ежегодный улов командорского и тихоокеанского кальмаров составлял 53,9–123,6 тыс. т. Современные способы машинной разделки кальмаров позволяют производить филе с высокими потребительскими свойствами без существенной задержки и потерь качества сырья (*Tapia-Vasquez et al., 2021*); формирующиеся при этом объемы вторичного сырья, в частности кожи, могут достигать 2 тыс. т в год (*Cao et al., 2022*).

Кожа промысловых кальмаров, ресурсно-доступная и массово не используемая, может являться перспективным сырьем в пищевой технологии ввиду ее уникального химического состава, экологичности и биологической ценности (*Самохин, 2021*). Авторами ранее была установлена возможность переработки кожи кальмаров посредством термической обработки в сушеную продукцию "КальмаКС" (в виде порошка) (*Благонравова и др., 2021*). Во многих публикациях приведены исследования, демонстрирующие целесообразность переработки кожи гидробионтов, обладающей высоким содержанием коллагена, на долю которого приходится 3–16 % от общего содержания белка кожи кальмара (*Veeruraj et al., 2015; Schmidt et al., 2022*). Фракции коллагена различаются в зависимости от вида кальмара и способов обработки кожи, определяющих ее функциональные свойства (*Nam, 2008; Phanat et al., 2015; Cao et al., 2022*).

Исследования (*Gómez-Guillén et al., 2011; Байдалунова и др., 2018; Cao et al., 2022; Благонравова et al., 2023*) посвящены изучению свойств продукции из кожи кальмара разных видов для использования в качестве натуральных эмульгаторов, пенообразователей, коллоидных стабилизаторов, биоразлагаемых пленкообразующих материалов и микрокапсулирующих агентов. В работах (*Veeruraj et al., 2015; Nakchum et al., 2015; Aguirre-Cruz et al., 2020; Cao et al., 2022; Zhang et al., 2024*) рассматриваются биофункциональные свойства гидролизатов коллагена, применяемые в качестве нутрицевтиков. Ранее показана целесообразность использования продуктов "КальмаКС" (из командорского кальмара) как структурорегуляторов, обладающих водоудерживающими, жиросвязывающими и гелеобразующими свойствами (*Благонравова et al., 2023*). Исследования свойств продукции из кожи тихоокеанского кальмара не проводились.

Таким образом, целью настоящего исследования является сравнительный анализ аминокислотного и белкового состава и функционально-технологических свойств сушеной продукции "КальмаКС" из кожи командорского и тихоокеанского кальмаров для определения возможностей ее использования в технологиях различных продуктов питания.

Материалы и методы

В качестве объекта исследования использовали сушеную продукцию "КальмаКС" из кожи командорского и тихоокеанского кальмаров (*Благонравова et al., 2022*). Технология изготовления продукции указана в нормативно-технической документации (СТО 00471585-002-2021 "Сушеная пищевая продукция из покровных тканей кальмара", ТИ 00471585-002-2021 "Технологическая инструкция по производству сушеной пищевой продукции из покровных тканей кальмара"), разработанной в Камчатском государственном техническом университете¹. Параметры производства продукции включают инфракрасную сушку при температуре 55 ± 2 °С и механическое измельчение в мелкодисперсный порошок. По показателям безопасности продукция

¹ Способ получения сушеной пищевой продукции из кожи кальмара : пат. № 2800477 Рос. Федерация / А. В. Самохин, М. В. Благонравова № 2022122171; заяв.15.08.2022; опубл. 21.07.2023, Бюл. № 21. URL: https://searchplatform.rospatent.gov.ru/doc/RU2800477C1_20230721.

"КальмаКС" полностью соответствует требованиям ТР ЕАЭС 040/2016 "О безопасности рыбы и рыбной продукции" и ТР ТС 021/2011 "О безопасности пищевой продукции". Химический состав продукции "КальмаКС" из кожи командорского и тихоокеанского кальмаров представлен в табл. 1.

Таблица 1. Химический состав продукции "КальмаКС" из кожи командорского и тихоокеанского кальмаров
Table 1. Chemical composition of "KalmaKS" products from the skin of Commander and Pacific squid

Показатель	Продукция "КальмаКС" из кожи кальмара	
	командорского, %	тихоокеанского, %
Массовая доля воды	8,00 ± 0,06	10,10 ± 0,07
Массовая доля минеральных веществ	4,20 ± 0,14	12,50 ± 0,8
Массовая доля липидов	7,00 ± 0,06	5,50 ± 0,05
Массовая доля белка, в том числе	80,80 ± 0,20	71,90 ± 0,50
– коллагена	18,65 ± 0,08	8,79 ± 0,02
– оксипролина	2,31 ± 0,01	1,09 ± 0,01

Массовую долю воды, минеральных веществ, липидов, белка в исследуемых образцах продукции "КальмаКС" из кожи командорского и тихоокеанского кальмаров определяли по ГОСТ 7636-85 "Рыба, морские млекопитающие, морские беспозвоночные и продукты их переработки. Методы анализа".

Содержание воды устанавливали посредством высушивания образцов в сушильном шкафу ШС-80-01 до постоянной массы при температуре 130 ± 2 °С. Бюксу с навеской охлаждали в эксикаторе в течение 30 мин, затем взвешивали с абсолютной погрешностью не более 0,001 г.

Содержание минеральных веществ определяли методом взвешивания до постоянной массы после озоления пробы в муфельной печи МИМП-3У при температуре 500 °С (цвет золы должен быть без черных краплений).

Содержание липидов устанавливали экстракционно-весовым методом в экстракторе Сокслета, к которому подсоединяли предварительно высушенную при температуре 105 ± 2 °С и взвешенную до постоянной массы колбу. Экстракцию жира из навески образца проводили с помощью эфира; по окончании экстракции отгоняли эфир из колбы. Затем колбу с жиром высушивали при температуре 105 ± 2 °С в сушильном шкафу ШС-80-01 до постоянной массы, охлаждали в эксикаторе и взвешивали с абсолютной погрешностью не более 0,001 г.

Содержание белка устанавливали макрометодом Кельдаля: посредством окисления навески сухого образца при температуре 250 ± 2 °С в концентрированной серной кислоте в присутствии катализатора (сульфата меди); затем проводили отгонку образующегося аммиака паром. Белковые вещества определяли, умножая количество общего азота на коэффициент 6,25.

Коллаген в сухом веществе к массе общего белка устанавливали модифицированным методом определения оксипролина по ГОСТ 33692-2015 "Белки животные соединительнотканые. Общие технические условия". Метод основан на выделении оксипролина в кислотном гидролизате пробы нейтрализации гидролизата, окислении его хлорамином-Т и фотометрическом измерении оптической плотности с использованием спектрофотометра КФК-3КМ (длина волны 558 ± 2 нм).

Массовую долю оксипролина определяли в ходе измерения оптической плотности раствора при длине волны 558 ± 2 нм в стеклянной кювете относительно контрольного раствора. По градуировочному графику устанавливали концентрацию оксипролина в растворе пробы; измерение проводили с помощью спектрофотометра КФК-3КМ. Для пересчета на содержание коллагена полученную величину оксипролина умножали на коэффициент 8,06.

Аминокислотный состав образцов устанавливали после кислотного гидролиза белка до его полного распада на составляющие аминокислоты с последующим хроматографическим определением состава и массовой доли индивидуальных аминокислот с помощью жидкостного аминокислотного хроматографа 1260 Infinity II LC System (Agilent Technologies, Германия) по ГОСТ 34132-2017 "Мясо и мясные продукты. Метод определения аминокислотного состава животного белка".

Для исследования функционально-технологических свойств (ФТС) сушеной продукции "КальмаКС" из кожи командорского и тихоокеанского кальмаров находили влагоудерживающую способность (ВУС) по количеству воды, которую белок может связать и удержать после центрифугирования при температурах 20, 40, 60, 75 °С.

Определение растворимости образцов в воде проводили по ГОСТ 7636-85, выполняя следующие действия: извлечение из белка водорастворимой фракции; обезвоживание нерастворимой части путем центрифугирования, выпаривания, высушивания; весовое определение нерастворимой части, как описано в работе (Blagonravova et al., 2023). Индекс растворимости (ИР) рассчитывали по ГОСТ 30305.4-95

"Продукты молочные сухие. Методика выполнения измерений индекса растворимости" исходя из объема нерастворившегося осадка в пробе анализируемого продукта.

Пенообразующую способность (ПОС) определяли таким образом: навеску исследуемого образца в количестве 6 г помещали в химический стакан, наливали 25 см³ дистиллированной воды и тщательно растирали стеклянной палочкой до получения однородной массы. После чего массу переносили в мерный цилиндр емкостью 500 см³ с притертой пробкой. Смывая дистиллированной водой остатки в стакане, доводили общий объем жидкости в цилиндре до 300 см³ и оставляли раствор в состоянии покоя на 15 мин. Далее цилиндр с раствором встряхивали при горизонтальном положении в течение 1 мин (60 встряхиваний). Отсчет количества пены производили по ее высоте над уровнем жидкости, используя миллиметровую бумагу, наклеенную на цилиндре. Стойкость пены (СП) определяли по ее высоте над уровнем жидкости в течение 15 мин.

Жиросвязывающую способность (ЖСС) определяли в ходе центрифугирования 5 г пробы и 25 г рафинированного подсолнечного масла в течение 1 мин со скоростью 1 000–2 000 об/мин; после чего пробу оставляли в состоянии покоя на 30 мин; затем перемешивали в течение 1 мин; после 5 мин покоя проводили повторное центрифугирование (4 000 об/мин) в течение 15 мин с последующим взвешиванием пробирки с образцом и измерением объема масла, оставшегося неадсорбированным.

Жироэмульгирующую способность (ЖЭС) определяли следующим образом: к 100 см³ дистиллированной воды добавляли навеску образца в количестве 7 г; центрифугировали смесь со скоростью 4 000 об/мин в течение 1 мин, после чего добавляли 100 см³ подсолнечного масла и эмульгировали со скоростью 8 000 об/мин в течение 5 мин. Эмульсию распределяли в равных количествах в четыре центрифужные градуированные пробирки и центрифугировали ее со скоростью 2 000 об/мин в течение 5 мин; ЖЭС определяли по отношению объема эмульсионного слоя к общему объему смеси подсолнечного масла и суспензии из образца.

Одномерный денатурирующий электрофорез по Лэммли осуществляли в 12,5 %-м полиакриламидном геле с использованием камеры для вертикального гель-электрофореза ("Хеликон", Россия) в соответствии с методикой, указанной в работе (*Полещук и др., 2023*). Визуализацию проводили путем окрашивания белков раствором Кумасси G-250; для удаления несвязавшегося красителя использовали 10%-ю уксусную кислоту.

Определение цветовых характеристик проводили в 10 параллельных измерениях с использованием спектрофотометра Konika Minolta CM-2300d (Konika Minolta, Япония), осуществляя предварительную калибровку нуля и белого цвета в соответствии с инструкцией по эксплуатации. Оценку цветовых характеристик образца (*L*-светлоту, *a*-красноту и *b*-желтизну, выраженные в безразмерных величинах) проводили в декартовых координатах в системе CIE. В качестве окончательного результата измерений принимали среднеарифметическое значение десяти параллельных измерений показателей *L*-светлоты, *a*-красноты и *b*-желтизны исследуемых образцов.

Результаты представлены в виде "среднего значения ± стандартного отклонения", использовался *t*-критерий Стьюдента (полученные данные соответствовали условиям нормальности распределения и равенства дисперсий), значение критического уровня значимости принималось равным 5 %.

Результаты и обсуждение

Анализ аминокислотного состава образцов сушеной продукции "КальмаКС" из тихоокеанского и командорского кальмаров (табл. 2) показал, что основными аминокислотами в образце из кожи командорского кальмара были глицин, пролин, аргинин, глутаминовая и аспарагиновая кислоты, аланин, лейцин, лизин, образце из кожи тихоокеанского кальмара – глутаминовая и аспарагиновая кислоты, аланин, тирозин, пролин, треонин, лейцин и изолейцин. В сравниваемых образцах "КальмаКС" установлено примерно одинаковое содержание серина, гистидина, метеонина, триптофана.

Содержание глицина и пролина, а также его предшественника аргинина, в образце "КальмаКС" из кожи командорского кальмара, составляющее соответственно 33, 18 и 11 % от содержания всех заменимых аминокислот, превышало концентрацию этих веществ в образце из кожи тихоокеанского кальмара: глицина – в 8 раз; пролина и аргинина – в 2 раза. Этот факт свидетельствует о преобладании коллагеновых белков в образце из кожи командорского кальмара, что соотносится с данными химического состава (табл. 1) и подтверждается тем, что первичная аминокислотная последовательность коллагена представляет собой глицин-пролин-*X* или глицин-*X*-гидроксипролин (где *X* может быть любой из остальных 17 аминокислот). Таким образом, в аминокислотной последовательности присутствует аминокислота – глицин, при этом 20 % аминокислотных остатков приходится на оксипролин и пролин (*Kühn, 1982; Тумурова и др., 2020; Wang, 2021*). Кроме того, в образце из кожи командорского кальмара количество лизина в 1,5 раза превышало его содержание в образце сравнения, что может быть связано с деструктуризацией коллагеновых волокон вследствие инфракрасной сушки продукции (*Ezquerro-Brauer et al., 2018*). Образец характеризовался низким содержанием остатков ароматических аминокислот, что также свидетельствует о превалировании коллагеновых белков (*Краснова, 2018*).

Высокое содержание треонина, изолейцина, тирозина, цистина (в 2,5–4 раза больше, чем в образце сравнения) и фенилаланина (на 56 % больше, чем в образце сравнения) в образце "КальмаКС" из кожи тихоокеанского кальмара может свидетельствовать о превалировании в образце белков покровных структур кожи и мышечной ткани (*Raman et al., 2014*). Кроме того, цистин, обычно не являющийся частью структуры и не встречающийся в коллагене I типа, может являться частью коллагена III типа, обладающего внутримолекулярными дисульфидными связями и присутствием серосодержащих аминокислот, также цистин характерен для аминокислотной последовательности эластина (*Ezquerro-Brauer et al., 2018*). Значительное содержание пролина, аспарагиновой и глутаминовой кислот, составляющее соответственно 20, 27 и 13 % от содержания всех заменимых аминокислот, характерно для коллагена III типа (*Мезенова и др., 2018; Altan et al., 2024*).

Изучение молекулярно-массового распределения белковых фракций продукции "КальмаКС" из покровных тканей командорского и тихоокеанского кальмаров с помощью SDS-PAGE показало, что два образца существенно различаются между собой (рис. 1). В образце "КальмаКС" из кожи тихоокеанского кальмара присутствовали белковые полосы в диапазоне молекулярных масс ~170 кДа, в области от 40 до 30 кДа (40, 37, 35, 32 кДа), 20 кДа, а также минорные фракции 17 и 13 кДа; в образце из кожи командорского кальмара выявлены мажорные белковые фракции с молекулярными массами 127, 42 и 38–39 кДа и минорные фракции – в области ~100, 80, 32, 29 кДа и диапазоне 15–12 кДа. Отмеченные в образце из кожи тихоокеанского кальмара белковые полосы в диапазоне молекулярных масс 32–29 кДа соответствуют белкам тропомиозинового комплекса, фракции в области 40 и 20 кДа также могут являться пигментными светоотражающими белками покровных тканей (*Williams et al., 2019*).

Таблица 2. Аминокислотный состав продукции "КальмаКС" из кожи командорского и тихоокеанского кальмаров, г/100 г продукта
Table 2. Amino acid composition of "KalmaKS" products from the skin of Commander and Pacific squid, g/100 g of the product

Наименование аминокислот	Содержание аминокислот в "КальмаКС" из кожи кальмара	
	командорского	тихоокеанского
Заменимые		
Аспарагиновая кислота	5,55 ± 0,83	8,14 ± 1,22*
Аргинин	6,54 ± 0,98	3,06 ± 0,46*
Аланин	4,94 ± 0,74	3,66 ± 0,55
Глутаминовая кислота	6,30 ± 0,95	10,99 ± 1,65*
Серин	2,89 ± 0,43	2,98 ± 0,45
Глицин	18,46 ± 2,77	2,34 ± 0,35*
Тирозин	0,89 ± 0,13	3,14 ± 0,47*
Цистин	0,31 ± 0,05	1,28 ± 0,19*
Пролин	9,74 ± 1,46	5,14 ± 0,77*
Незаменимые		
Валин	3,26 ± 0,49	3,65 ± 0,55
Гистидин	1,33 ± 0,20	0,89 ± 0,13
Треонин	2,29 ± 0,34	5,97 ± 0,90*
Метионин	2,05 ± 0,31	1,51 ± 0,23
Фенилаланин	1,34 ± 0,20	2,37 ± 0,36*
Изолейцин	1,63 ± 0,24	4,56 ± 0,68*
Лейцин	6,16 ± 0,92	4,72 ± 0,71
Лизин	4,20 ± 0,63	2,85 ± 0,43*
Триптофан	0,47 ± 0,97	0,97 ± 0,19

Примечание. *Значение рассчитано с учетом $p < 0,05$.

Известно, что существуют четыре структурных уровня белка коллагена: первичная структура (триплет аминокислот), вторичная структура (α -спираль), третичная структура (тройная спираль) и четвертичная структура (фибриллы). Различные типы коллагенов различаются по составу α -цепей. В настоящее время идентифицировано около 28 типов коллагена, однако наиболее широко распространены 5 типов коллагена (I–V), коллаген типа I является наиболее широко встречающимся коллагеном в соединительной ткани (*Wang, 2021*). Молекулы интерстициального коллагена представляют собой гетеротример молекулярной массой ~300 кДа, состоящий из трех переплетенных α -цепей (*Yang et al., 2020*), каждая из которых является продуктом почти непрерывного повторения последовательности глицин-пролин-X (*Gómez-Guillén et al., 2011*). Выявленные в образце из кожи командорского кальмара разные по плотности и скорости подвижности белковые полосы можно с наибольшей вероятностью отнести к основным компонентам α -цепи коллагена типа I на основании соотношения интенсивностей плотной полосы α_1 -цепи (в области 128–132 кДа) и слабой

полосы α_2 -цепи (в области 100–90 кДа), составляющей 2:1 (рис. 1), что соотносится с данными, указанными в работах других авторов (*Gómez-Guillén et al., 2011; Veeruraj et al., 2015; Cao et al., 2022*). Белковые полосы в диапазоне 100–42 кДа являются продуктами желатинизации коллагена, происходящей при нагревании до температуры более 65 °С. Распределение смеси полипептидов желатина типично для коллагена типа I с характерным соотношением цепей α_1/α_2 , составляющим около 2; возможно присутствие β - и γ -компонентов (ковалентно связанных димеров и тримеров α -цепи соответственно) и фрагментов деградации (*Ezquerria-Brauer et al., 2018*).

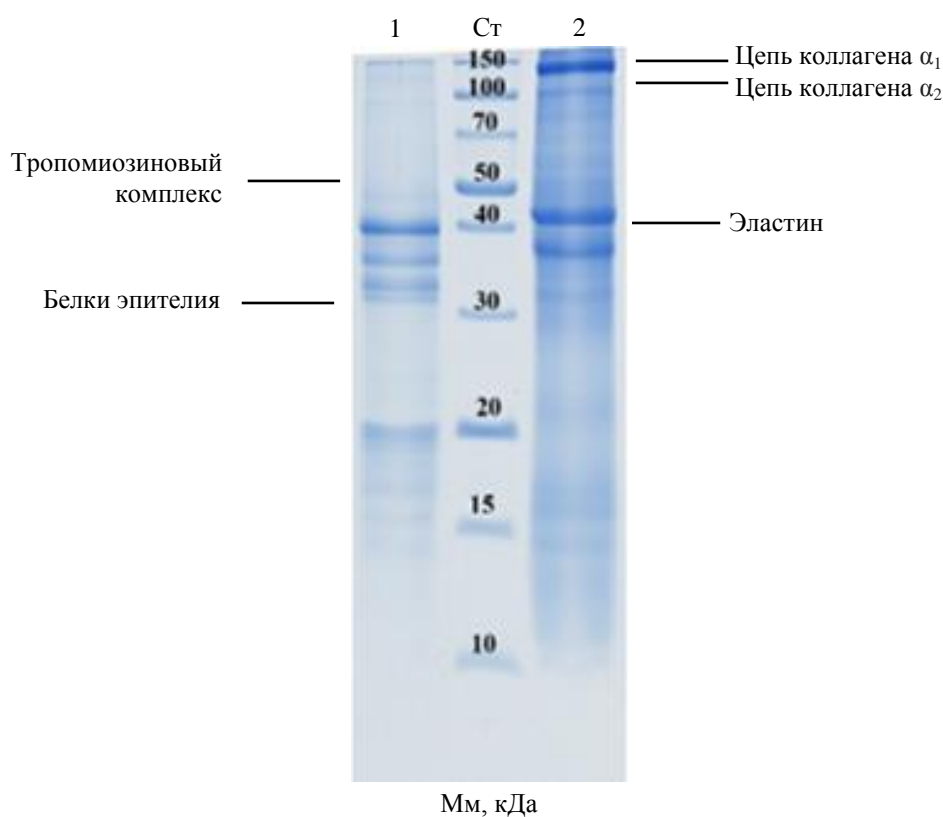


Рис. 1. Молекулярно-массовое распределение образцов "КальмаКС".
Условные обозначения: 1 – образец из кожи тихоокеанского кальмара;
Ст – стандарты молекулярных масс; 2 – образец из кожи командорского кальмара
Fig. 2. Molecular weight distribution of "KalmaKS" samples.
Symbols: 1 – Pacific squid skin sample; Ст – molecular weight standards;
2 – Commander squid skin sample

Исследование растворимости продукции "КальмаКС" из кожи командорского и тихоокеанского кальмара показало высокую способность белков к растворению до 45 %, свидетельствующую о наличии в продукции водорастворимых белков, что подтвердил ИР, характеризующий долю водорастворимой фракции белка продукции, показавший отсутствие значимых различий между образцами и составляющий 1,3 % (табл. 3).

Исследование ПОС продукции "КальмаКС" при температуре воды 24 ± 2 °С не выявило существенной разницы для образцов, произведенных из тихоокеанского и командорского кальмаров. Стабильность пенных структур продукции "КальмаКС" из кожи тихоокеанского и командорского кальмаров была высокой, однако наблюдалось более быстрое снижение высоты пены образца из кожи командорского кальмара.

Отмечены высокие значения ЖСС образцов "КальмаКС" из кожи командорского и тихоокеанского кальмаров, что может свидетельствовать о высокой адсорбции жира гидрофобными группами образцов (*Blagonravova et al., 2023*). ЖЭС исследуемых образцов возрастала при увеличении температуры до 80 ± 2 °С от 3 до 5 % (с 42 до 45 % – в образце из тихоокеанского кальмара; с 40 до 45 % – командорского), что свидетельствует о поверхностно-активных свойствах полученной эмульсии, позволяющих накапливать жир и влагу при тепловом воздействии.

Анализ цветовых характеристик показал разницу в показателях L -светлоты и a -красноты исследуемых образцов (табл. 3). Образец из кожи командорского кальмара был ярче и краснее. Значение a -красноты превышало значение в образце из кожи тихоокеанского кальмара в 2,2 раза. Величина L -светлоты была незначительно выше у образца из кожи тихоокеанского кальмара (на 7 %). Существенной разницы в значениях

b-желтизны, отражающей степень окисления липидов, не выявлено. Известно, что изменение цвета может вызывать реакция Майяра, денатурация и окисление белка, а также образование различных цветовых соединений в процессе тепловой обработки (Xiao *et al.*, 2021).

Таблица 3. Цветовые характеристики и функционально-технологические свойства сушеной продукции "КальмаKS"
Table 3. Color characteristics and functional and technological properties of dried "KalmaKS" products

Параметр	"КальмаKS" из кожи кальмара	
	командорского	тихоокеанского
Растворимость	46,27 ± 1,47	44,1 ± 0,61
Индекс растворимости	1,30 ± 0,08	1,28 ± 0,05
Пенообразующая способность	2,46 ± 0,33	2,78 ± 0,45
Стабильность пены	69,00 ± 13,42	77,00 ± 6,48
Жиросвязывающая способность	156,83 ± 5,78	149,90 ± 7,84
Жироэмульгирующая способность:		
– при температуре 25 ± 2 °С	39,69 ± 2,55	42,40 ± 3,35
– при температуре 80 ± 2 °С	45,40 ± 1,69	45,08 ± 1,42
<i>L</i> -светлота	67,77 ± 0,64	73,00 ± 1,22*
<i>a</i> -краснота	8,88 ± 0,16	4,11 ± 0,18*
<i>b</i> -желтизна	11,25 ± 0,20	11,31 ± 0,25

Примечание. *Значение рассчитано с учетом $p < 0,05$.

Проведенный анализ результатов оценки ВУС образцов "КальмаKS" из кожи командорского и тихоокеанского кальмаров показал, что при температуре 20 ± 2 °С разница в способности образцов связывать воду незначительна (164 и 158 % соответственно). При увеличении температуры до 75 ± 2 °С выявлен рост показателя ВУС обоих образцов до 250 %. Повышенная способность связывать воду при увеличении температуры до 40 и 60 °С выявлена у образца из кожи командорского кальмара (рис. 2).

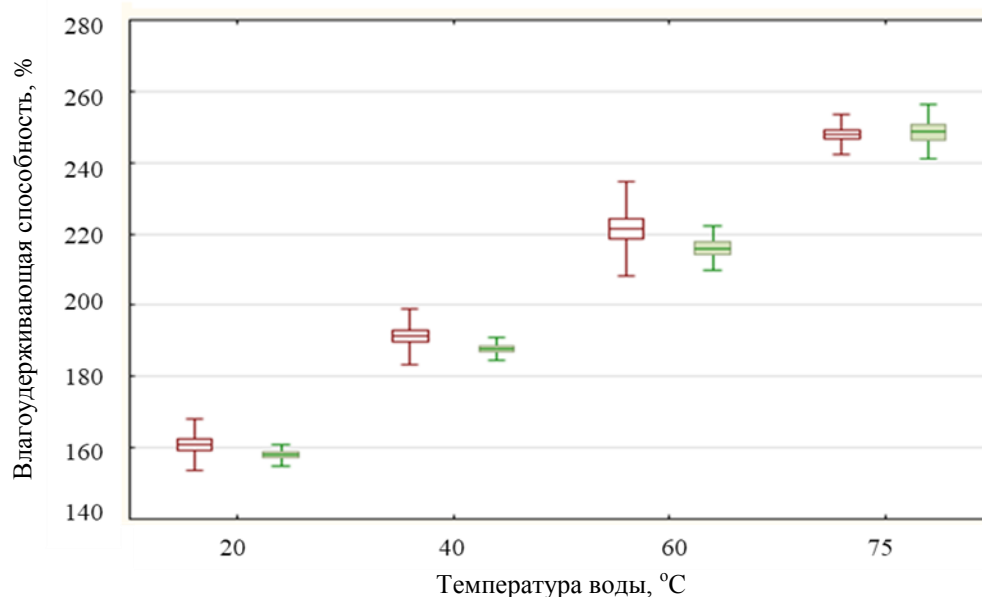


Рис. 2. Результаты определения влагоудерживающей способности продукции "КальмаKS" из кожи командорского (красный маркер) и тихоокеанского (зеленый маркер) кальмаров
Fig. 2. Results of determination of the moisture-retaining capacity of "KalmaKS" products from the skin of Commander (red marker) and Pacific (green marker) squid

Анализ результатов ФТС позволяет предположить, что сушка продукции из кожи кальмара с применением инфракрасного излучения при температуре 55 ± 2 °С приводит к расщеплению водородных и ковалентных связей, дестабилизации и дезорганизации белков, в частности коллагена, который переходит от спирали к клубку и превращению в растворимый желатин при температуре выше 45 °С (Gómez-Guillén *et al.*, 2011; Мурашев, 2013).

Заключение

Сушеные продукты "КальмаКС" из кожи тихоокеанского (*Todarodes pacificus*) и командорского (*Berryteuthis magister*) кальмаров различаются по аминокислотному и белковому составу, но демонстрируют схожие функционально-технологические свойства. Высокие значения растворимости, влагоудерживающей способности и стабильность пенных структур обусловлены значительным содержанием деструктурированного коллагена типа I (в образце из кожи командорского кальмара) и гидрофильных аминокислот и фрагментов коллагена типа III (в продукте из кожи тихоокеанского кальмара). Инфракрасная сушка продукции способствует денатурации и желатинизации коллагена кожи командорского кальмара, что подтверждают более яркие цветовые характеристики образцов и высокая влагосвязывающая способность при повышении температуры до 40 и 60 °С; данный факт свидетельствует об увеличении гидрофильных свойств продуктов деструкции коллагеновых фракций.

Проведенные исследования показали, что продукция из кожи, являющейся вторичным продуктом переработки кальмара, обладает высоким потенциалом для использования в пищевой промышленности в качестве водоудерживающего, жиросвязывающего, жироземлюющего компонента. Высокие показатели растворимости, водо- и жиросвязывающей способности обуславливают возможность применения образцов "КальмаКС" для уменьшения потерь влаги и улучшения сочности различных продуктов как при размораживании, так и при приготовлении. При решении задачи обеспечения потребности населения в сбалансированном и оптимальном по стоимости рационе питания необходимо проведение дальнейших исследований кожи кальмаров с целью определения направления ее использования в технологиях различных пищевых продуктов.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Библиографический список

- Байдалинова Л. С., Ляпустина Е. Е. Выделение натуральных структурообразователей белковой природы из коллагенсодержащего вторичного рыбного сырья // Известия КГТУ. 2018. № 51. С. 45–60. EDN: YLWODB.
- Благоднарова М. В., Самохин А. В. Обоснование технологических параметров сушки покровных тканей кальмара с использованием инфракрасного излучения // Вестник Камчатского государственного технического университета. 2021. № 57. С. 30–43. DOI: <https://doi.org/10.17217/2079-0333-2021-57-30-43>. EDN: EGDMOU.
- Краснова А. А. Разработка технологии мясных продуктов с функциональными ингредиентами : дис. ... канд. техн. наук. СПб, 2018. 162 с.
- Мезенова О. Я., Волков В. В., Мерзель Т., Гримм Т. [и др.]. Сравнительная оценка способов гидролиза коллагенсодержащего рыбного сырья при получении пептидов и исследование их аминокислотной сбалансированности // Известия вузов. Прикладная химия и биотехнология. 2018. Т. 8, № 4(27). С. 83–94. DOI: <https://doi.org/10.21285/2227-2925-2018-8-4-83-94>. EDN: YTDWFF.
- Мурашев С. В. Влияние разрушения структуры коллагена на гидрофильные свойства продуктов этого процесса // Научный журнал НИУ ИТМО. Серия "Процессы и аппараты пищевых производств". 2013. № 3. EDN: TBJJVV.
- Полищук Е. К., Арюзина М. А., Спирина М. Е., Котенкова Е. А. Влияние pH на извлечение белков из поджелудочной железы *Sus scrofa* // Пищевые системы. 2023. № 4. С. 539–546. DOI: <https://doi.org/10.21323/2618-9771-2023-6-4-539-546>. EDN: ABSRFJ.
- Самохин А. В. Обоснование целесообразности использования покровных тканей кальмара в технологии пищевого обогатителя // Комплексные исследования в рыбохозяйственной отрасли : материалы VI Междунар. науч.-техн. конф. студентов, аспирантов и молодых ученых, Владивосток, 27 ноября 2020 г., Владивосток : Дальрыбвтуз, 2021. С. 272–279. EDN: AOMMXC.
- Тумурова Т. Б., Шалбуев Д. В. Роль аминокислот коллагена в заживлении ран // Кожа и мех в XXI веке: технология, качество, экология, образование : материалы XVI Междунар. науч.-практ. конф., Улан-Удэ, 11–13 ноября 2020 г. Улан-Удэ : Изд-во БНЦ СО РАН, 2020. С. 241–245. DOI: <https://doi.org/10.31554/978-5-7925-0601-5-2020-241-245>. EDN: BERHUL.
- Aguirre-Cruz G., León-López A., V. Cruz-Gómez V., Jiménez-Alvarado R. [et al.]. Collagen hydrolysates for skin protection: Oral administration and topical formulation // Antioxidants. 2020. Vol. 9, Iss. 2. Article number: 181. DOI: <https://doi.org/10.3390/antiox9020181>.
- Altan C. O., Kocatepe D., Çorapçı B., Çorapçı B. [et al.]. A comprehensive investigation of tenderization methods: Evaluating the efficacy of enzymatic and non-enzymatic methods in improving the texture of squid mantle – A detailed comparative study // Food and Bioprocess Technology. 2024. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11947-024-03363-7>.

- Blagonravova M. V., Volkov V. S., Samokhin A. V. Chemical composition of food product "KalmaKS" produced from dried squid skin // Вестник Астраханского государственного технического университета. Сер. Рыбное хозяйство. 2022. № 3. С. 123–128. DOI: <https://doi.org/10.24143/2073-5529-2022-3-123-128>. EDN: CXAUYF.
- Blagonravova M. V., Volkov V. S., Samokhin A. V. Studying functional and technological properties of dried food product "KalmaKS" made from Commander squid's skin // Вестник Астраханского государственного технического университета. Сер. Рыбное хозяйство. 2023. № 3. С. 129–136. DOI: <https://doi.org/10.24143/2073-5529-2023-3-129-136>. EDN: GAKDBN.
- Cao S., Cai J., Ying S., Chen T. [et al.]. Characteristics comparison of collagens from squid skin by different extraction methods // Food Science and Technology. 2022. Vol. 42. Article number: e69422. DOI: <https://doi.org/10.1590/fst.69422>.
- Ezquerria-Brauer J. M., Márquez-Ríos E., López-Corona B. E., Ocaño-Higuera V. M. [et al.]. Physicochemical changes of pepsin-solubilized and insoluble collagen in jumbo squid (*Dosidicus gigas*) muscle after cooking process // International Journal of Food Properties. 2018. Vol. 21, Iss. 1. P. 821–834. DOI: <https://doi.org/10.1080/10942912.2018.1477159>.
- Gómez-Guillén M. C., Giménez B., López-Caballero M. E., Montero M. P. Functional and bioactive properties of collagen and gelatin from alternative sources: A review // Food Hydrocolloids. 2011. Vol. 25, Iss. 8. P. 1813–1827. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2011.02.007>.
- Kittiphattanabawon P., Nalinanon S., Benjakul S., Kishimura H. Characteristics of pepsin-solubilised collagen from the skin of splendid squid (*Loligo formosana*) // Journal of Chemistry. 2015. Vol. 2015. Article number: 482354. DOI: <https://doi.org/10.1155/2015/482354>.
- Kühn K. Relationship between amino acid sequence and higher structures of collagen // Connective Tissue Research. 1982. Vol. 10, Iss. 1. P. 5–10. DOI: <https://doi.org/10.3109/03008208209034401>.
- Nakchum L., Kim S. M. Preparation of squid skin collagen hydrolysate as an antihyaluronidase, antityrosinase, and antioxidant agent // Preparative Biochemistry & Biotechnology. 2016. Vol. 46, Iss. 2. P. 123–130. DOI: <https://doi.org/10.1080/10826068.2014.995808>.
- Nam K. A., You S. G., Kim S. M. Molecular and physical characteristics of squid (*Todarodes pacificus*) skin collagens and biological properties of their enzymatic hydrolysates // Journal of Food Science. 2008. Vol. 73, Iss. 4. P. C249–C255. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1750-3841.2008.00722.x>.
- Raman M., Mathew S. Study of chemical properties and evaluation of collagen in mantle, epidermal connective tissue and tentacle of Indian Squid, *Loligo duvauceli* Orbigny // Journal of Food Science and Technology. 2014. Vol. 51. P. 1509–1516. DOI: <https://doi.org/10.1007/s13197-012-0671-6>.
- Schmidt C. V., Mouritsen O. G. Cephalopods as challenging and promising blue foods: Structure, taste, and culinary highlights and applications // Foods. 2022. Vol. 11, Iss. 17. Article number: 2559. DOI: <https://doi.org/10.3390/foods11172559>.
- Tapia-Vasquez A. E., Rodríguez-Ramírez R., Ezquerria-Brauer J. M., Suárez-Jiménez G. M. [et al.]. Collagen in Cephalopods: An overview of its physicochemical properties and influence on muscle texture // Journal of Aquatic Food Product Technology. 2021. Vol. 30, Iss. 8. P. 1038–1046. DOI: <https://doi.org/10.1080/10498850.2021.1962470>.
- Veeruraj A., Arumugam M., Ajithkumar T., Balasubramanian T. Isolation and characterization of collagen from the outer skin of squid (*Doryteuthis singhalensis*) // Food Hydrocolloids. 2015. Vol. 43. P. 708–716. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2014.07.025>.
- Wang H. A review of the effects of collagen treatment in clinical studies // Polymers. 2021. Vol. 13, Iss. 22. Article number: 3868. DOI: <https://doi.org/10.3390/polym13223868>.
- Williams T. L., Senft S. L., Yeo J., Martín-Martínez F. J. [et al.]. Dynamic pigmentary and structural coloration within cephalopod chromatophore organs // Nature Communications. 2019. Vol. 10. Article number: 1004. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41467-019-08891-x>.
- Xiao H., Li N., Yan L., Xue Y. The hydration characteristics, structural properties and volatile profile of squid (*Symplectoteuthis oualaniensis*) mantle muscle: Impacts of steaming, boiling, and sous vide cooking // Foods. 2021. Vol. 10, Iss. 7. Article number: 1646. DOI: <https://doi.org/10.3390/foods10071646>.
- Yang J., Ding C., Tang L., Deng F. [et al.]. Novel modification of collagen: Realizing desired water solubility and thermostability in a conflict-free way // ACS Omega. 2020. Vol. 5, Iss. 11. P. 5772–5780. DOI: <https://doi.org/10.1021/acsomega.9b03846>.
- Zhang X., Zhuang H., Wu S., Mao C. [et al.]. Marine bioactive peptides: Anti-photoaging mechanisms and potential skin protective effects // Current Issues in Molecular Biology. 2024. Vol. 46, Iss. 2. P. 990–1009. DOI: <https://doi.org/10.3390/cimb46020063>.

References

- Baidalinova, L. S., Lyapustina, E. E. 2018. Extraction of natural protein structure-forming agents from collagen-containing secondary fish raw materials. *KSTU News*, 51, pp. 45–60. EDN: YLWODB. (In Russ.)
- Blagonravova, M. V., Samokhin, A. V. 2021. Substantiation of technological parameters of drying of squid integumentary tissues using infrared radiation. *Bulletin of Kamchatka State Technical University*, 57, pp. 30–43. DOI: <https://doi.org/10.17217/2079-0333-2021-57-30-43>. EDN: EGDMOU. (In Russ.)
- Krasnova, A. A. 2018. Development of technology of meat products with functional ingredients. Ph.D. Thesis. St. Petersburg. (In Russ.)
- Mezenova, O. Ya., Volkov, V. V., Merzel, T., Grimm, T. et al. 2018. Comparative assessment of methods of hydrolysis of collagen-containing fish raw materials in the production of peptides and the study of their amino acid balance. *Proceedings of Universities. Applied Chemistry and Biotechnology*, 8(4(27)), pp. 83–94. DOI: <https://doi.org/10.21285/2227-2925-2018-8-4-83-94>. EDN: YTDWFF. (In Russ.)
- Murashev, S. V. 2013. The effect of the destruction of the collagen structure on the hydrophilic properties of the products of this process. *Scientific journal NRU ITMO. Processes and Food Production Equipment*, 3. EDN: TBDJVV. (In Russ.)
- Polishchuk, E. K., Aryuzina, M. A., Spirina, M. E., Kotenkova, E. A. 2023. The effect of pH on the extraction of proteins from the pancreas *Sus scrofa*. *Food systems*, 4, pp. 539–546. DOI: <https://doi.org/10.21323/2618-9771-2023-6-4-539-546>. EDN: ABSRFJ. (In Russ.)
- Samokhin, A. V. 2021. Substantiation of the expediency of using squid integumentary tissues in food fortification technology. VI Intern. Scientific and Technical Conference of Students, Postgraduates and Young Scientists. Vladivostok, pp. 272–279. EDN: AOMMXC. (In Russ.)
- Tumurova, T. B., Shalbuev, D. V. 2020. The role of collagen amino acids in wound healing. Skin and fur in the XXI century: Technology, quality, ecology, education. Materials of the XVI Intern. Scientific and Practical Conference. Ulan-Ude, pp. 241–245. DOI: <https://doi.org/10.31554/978-5-7925-0601-5-2020-241-245>. EDN: BERHUL. (In Russ.)
- Aguirre-Cruz, G., León-López, A., V. Cruz-Gómez, V., Jiménez-Alvarado, R. et al. 2020. Collagen hydrolysates for skin protection: Oral administration and topical formulation. *Antioxidants*, 9(2). Article number: 181. DOI: <https://doi.org/10.3390/antiox9020181>.
- Altan, C. O., Kocatepe, D., Çorapçı, B., Çorapçı, B. et al. 2024. A comprehensive investigation of tenderization methods: Evaluating the efficacy of enzymatic and non-enzymatic methods in improving the texture of squid mantle – A detailed comparative study. *Food and Bioprocess Technology*. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11947-024-03363-7>.
- Blagonravova, M. V., Volkov, V. S., Samokhin, A. V. 2022. Chemical composition of food product "KalmaKS" produced from dried squid skin. *Vestnik of Astrakhan State Technical University. Series: Fishing Industry*, 3, pp. 123–128. DOI: <https://doi.org/10.24143/2073-5529-2022-3-123-128>. EDN: CXAUYYF.
- Blagonravova, M. V., Volkov, V. S., Samokhin, A. V. 2023. Studying functional and technological properties of dried food product "KalmaKS" made from Commander squid's skin. *Vestnik of Astrakhan State Technical University. Series: Fishing industry*, 3, pp. 129–136. DOI: <https://doi.org/10.24143/2073-5529-2023-3-129-136>. EDN: GAKDBN.
- Cao, S., Cai, J., Ying, S., Chen, T. et al. 2022. Characteristics comparison of collagens from squid skin by different extraction methods. *Food Science and Technology*, 42. Article number: e69422. DOI: <https://doi.org/10.1590/fst.69422>.
- Ezquerria-Brauer, J. M., Márquez-Ríos, E., López-Corona, B. E., Ocaño-Higuera, V. M. et al. 2018. Physicochemical changes of pepsin-solubilized and insoluble collagen in jumbo squid (*Dosidicus gigas*) muscle after cooking process. *International Journal of Food Properties*, 21(1), pp. 821–834. DOI: <https://doi.org/10.1080/10942912.2018.1477159>.
- Gómez-Guillén, M. C., Giménez, B., López-Caballero, M. E., Montero, M. P. 2011. Functional and bioactive properties of collagen and gelatin from alternative sources: A review. *Food Hydrocolloids*, 25(8), pp. 1813–1827. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2011.02.007>.
- Kittiphattanabawon, P., Nalinanon, S., Benjakul, S., Kishimura, H. 2015. Characteristics of pepsin-solubilised collagen from the skin of splendid squid (*Loligo formosana*). *Journal of Chemistry*, 2015. Article number: 482354. DOI: <https://doi.org/10.1155/2015/482354>.
- Kühn, K. 1982. Relationship between amino acid sequence and higher structures of collagen. *Connective Tissue Research*, 10(1), pp. 5–10. DOI: <https://doi.org/10.3109/03008208209034401>.
- Nakchum, L., Kim, S. M. 2016. Preparation of squid skin collagen hydrolysate as an antihyaluronidase, antityrosinase, and antioxidant agent. *Preparative Biochemistry & Biotechnology*, 46(2), pp. 123–130. DOI: <https://doi.org/10.1080/10826068.2014.995808>.
- Nam, K. A., You, S. G., Kim, S. M. 2008. Molecular and physical characteristics of squid (*Todarodes pacificus*) skin collagens and biological properties of their enzymatic hydrolysates. *Journal of Food Science*, 73(4), pp. C249–C255. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1750-3841.2008.00722.x>.

- Raman, M., Mathew, S. 2014. Study of chemical properties and evaluation of collagen in mantle, epidermal connective tissue and tentacle of Indian Squid, *Loligo duvauceli* Orbigny. *Journal of Food Science and Technology*, 51, pp. 1509–1516. DOI: <https://doi.org/10.1007/s13197-012-0671-6>.
- Schmidt, C. V., Mouritsen, O. G. 2022. Cephalopods as challenging and promising blue foods: Structure, taste, and culinary highlights and applications. *Foods*, 11(17). Article number: 2559. DOI: <https://doi.org/10.3390/foods11172559>.
- Tapia-Vasquez, A. E., Rodríguez-Ramírez, R., Ezquerro-Brauer, J. M., Suárez-Jiménez, G. M. et al. 2021. Collagen in Cephalopods: An overview of its physicochemical properties and influence on muscle texture. *Journal of Aquatic Food Product Technology*, 30(8), pp. 1038–1046. DOI: <https://doi.org/10.1080/10498850.2021.1962470>.
- Veeruraj, A., Arumugam, M., Ajithkumar, T., Balasubramanian, T. 2015. Isolation and characterization of collagen from the outer skin of squid (*Doryteuthis singhalensis*). *Food Hydrocolloids*, 43, pp. 708–716. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2014.07.025>.
- Wang, H. 2021. A review of the effects of collagen treatment in clinical studies. *Polymers*, 13(22). Article number: 3868. DOI: <https://doi.org/10.3390/polym13223868>.
- Williams, T. L., Senft, S. L., Yeo, J., Martín-Martínez, F. J. et al. 2019. Dynamic pigmentary and structural coloration within cephalopod chromatophore organs. *Nature Communications*, 10. Article number: 1004. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41467-019-08891-x>.
- Xiao, H., Li, N., Yan, L., Xue, Y. 2021. The hydration characteristics, structural properties and volatile profile of squid (*Symplectoteuthis oualaniensis*) mantle muscle: Impacts of steaming, boiling, and sous vide cooking. *Foods*, 10(7). Article number: 1646. DOI: <https://doi.org/10.3390/foods10071646>.
- Yang, J., Ding, C., Tang, L., Deng, F. et al. 2020. Novel modification of collagen: Realizing desired water solubility and thermostability in a conflict-free way. *ACS Omega*, 5(11), pp. 5772–5780. DOI: <https://doi.org/10.1021/acsomega.9b03846>.
- Zhang, X., Zhuang, H., Wu, S., Mao, C. et al. 2024. Marine bioactive peptides: Anti-photoaging mechanisms and potential skin protective effects. *Current Issues in Molecular Biology*, 46(2), pp. 990–1009. DOI: <https://doi.org/10.3390/cimb46020063>.

Сведения об авторах

Самохин Александр Викторович – ул. Ключевская, 35, г. Петропавловск-Камчатский, Россия, 683003; Камчатский государственный технический университет, науч. сотрудник;
e-mail: alexandersamohin123@gmail.com

Alexander V. Samokhin – 35 Klyuchevskaya Str., Petropavlovsk-Kamchatsky, Russia, 683003;
Kamchatka State Technical University, Scientific Employee; e-mail: alexandersamohin123@gmail.com

Благонравова Майя Владимировна – ул. Ключевская, 35, г. Петропавловск-Камчатский, Россия, 683003; Камчатский государственный технический университет, канд. техн. наук, доцент;
e-mail: mblagonravova@mail.ru

Maya V. Blagonravova – 35 Klyuchevskaya Str., Petropavlovsk-Kamchatsky, Russia, 683003;
Kamchatka State Technical University, Cand. Sci. (Engineering), Associate Professor;
e-mail: mblagonravova@mail.ru

Спирина Мария Евгеньевна – ул. Талалихина, 26, г. Москва, Россия, 109316;
Федеральный научный центр пищевых систем им. В. М. Горбатова РАН, инженер-исследователь;
e-mail: m.spirina@fneps.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4544-4433>

Maria E. Spirina – 26 Talalikhina Str., Moscow, Russia, 109316; V. M. Gorbatov Federal Scientific Center for Food Systems of RAS, Research Engineer; e-mail: m.spirina@fneps.ru,
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4544-4433>

Федулова Лилия Вячеславовна – ул. Талалихина, 26, г. Москва, Россия, 109316; Федеральный научный центр пищевых систем им. В. М. Горбатова РАН, д-р техн. наук;
e-mail: l.fedulova@fneps.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3573-930X>

Lily V. Fedulova – 26 Talalikhina Str., Moscow, Russia, 109316; V. M. Gorbatov Federal Scientific Center for Food Systems of RAS, Dr Sci. (Engineering); e-mail: l.fedulova@fneps.ru,
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3573-930X>

Нормативные документы, использованные в статье

ТР ЕАЭС 040/2016	О безопасности рыбы и рыбной продукции. URL: https://docs.cntd.ru/document/420394425 .
ТР ТС 021/2011	О безопасности пищевой продукции. URL: https://docs.cntd.ru/document/902320560 .
ГОСТ 7636-85	Рыба, морские млекопитающие, морские беспозвоночные и продукты их переработки. Методы анализа. URL: https://docs.cntd.ru/document/1200022224 .
ГОСТ 33692-2015	Белки животные соединительнотканые. Общие технические условия. URL: https://docs.cntd.ru/document/1200133729 .
ГОСТ 34132-2017	Мясо и мясные продукты. Метод определения аминокислотного состава животного белка. URL: https://docs.cntd.ru/document/1200146930 .
ГОСТ 30305.4-95	Продукты молочные сухие. Методика выполнения измерений индекса растворимости. URL: https://docs.cntd.ru/document/1200021690 .

УДК 664.953

Разработка технологического решения, направленного на улучшение потребительских свойств нового рыбного кулинарного изделия, обогащенного хондроитинсульфатом ската звездчатого

В. В. Щетинский, Ю. В. Шокина*, А. Л. Никифоров-Никишин

*Мурманский арктический университет, г. Мурманск, Россия;

e-mail: shokinayuv@mstu.edu.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6513-1912>

Информация о статье Реферат

Поступила
в редакцию
28.05.2024;

принята к публикации
02.07.2024

Ключевые слова:

скат звездчатый,
хондроитинсульфат,
рыбное кулинарное
изделие,
обогащенный продукт,
рецептура,
технология

В статье изложены результаты разработки рыбного кулинарного изделия – рыбы, запеченной с гарниром в соусе из ската звездчатого и трески атлантической, обогащенного хондроитинсульфатом ската звездчатого, который содержится в мясе и хряще крыльев ската. В качестве дополнительного рыбного сырья выбрана треска атлантическая – более привычная российскому потребителю и удачно дополняющая по аминокислотному составу мясо крыльев ската звездчатого. Скаты звездчатый относится к недоиспользуемым объектам промысла Северного бассейна. Мясо крыльев ската звездчатого содержит до 1,5 % мочевины, что ухудшает его органолептические свойства. Для решения этой проблемы ранее было предложено использовать кратковременную предварительную тепловую обработку (ПТО) крыльев ската бланшированием в воде при температуре от 93 до 96 °С в течение 1–3 мин, что гарантирует четырехкратное снижение массовой доли мочевины в мясе крыльев ската относительно исходного содержания – ниже порога органолептического восприятия человека. ПТО также облегчает разделку крыльев ската. Предложена рецептура и технология комбинированного рыбного кулинарного изделия "Скаты звездчатый и треска, запеченные с картофелем и грибами в сливочном соусе", полностью готового к употреблению и расфасованного в потребительскую упаковку. Для пролонгации срока годности до 120 суток предложено подвергать изделие шоковому замораживанию с последующим хранением при температуре не выше минус 18 °С. Для решения проблемы расслоения сливочного соуса в процессе хранения и улучшения потребительских свойств изделия предложено экспериментально обоснованное технологическое решение – введение в состав рецептуры соуса в качестве загустителя и структурообразователя овсяной муки в количестве 3,5 % на общую массу соуса.

Для цитирования

Щетинский В. В. и др. Разработка технологического решения, направленного на улучшение потребительских свойств нового рыбного кулинарного изделия, обогащенного хондроитинсульфатом ската звездчатого. Вестник МГТУ. 2024. Т. 27, № 3. С. 424–436. DOI: <https://doi.org/10.21443/1560-9278-2024-27-3-424-436>.

Development of a technological solution aimed at improving the consumer properties of a new fish culinary product enriched with chondroitin sulfate of thorny skate

Vsevolod V. Shchetinsky, Yulia V. Shokina*, Aleksey L. Nikiforov-Nikishin

*Murmansk Arctic University, Murmansk, Russia;

e-mail: shokinayuv@mstu.edu.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6513-1912>

Article info

Received
28.05.2024;

accepted
02.07.2024

Key words:

thorny skate,
chondroitin sulfate,
fish culinary product,
enriched product,
formulation,
technology

Abstract

The paper presents the results of developing a fish culinary product (thorny skate meat mixed with Atlantic cod meat, baked with potatoes and mushrooms in a cream sauce) enriched with chondroitin sulfate contained in the meat and cartilage of the wings of thorny skate. Atlantic cod, more familiar to the Russian consumer and successfully complementing the skate's meat with amino acid composition, has been chosen as an additional fish raw material. Thorny skate belongs to the underutilized fishing facilities of the Northern Basin. The meat of its wings contains up to 1.5 % urea, which worsens its organoleptic properties. To solve this problem, it was previously proposed to use short-term preliminary heat treatment (PHT) of skate's wings by blanching them in water at a temperature from 93 to 96 °C for 1–3 minutes, which guarantees a fourfold decrease in the mass fraction of urea in the meat, relative to the initial content, below the organoleptic perception of the consumer. PHT also facilitates the cutting of the skate's meat. The formulation and technology of a combined fish culinary product is proposed, packaged and completely ready for consumer's use. To prolong the shelf life up to 120 days, it is proposed to subject the product to shock freezing with subsequent storage at a temperature no higher than minus 18 °C. To solve the problem of delamination of cream sauce during storage and to improve the consumer properties of the product, an experimentally based technological solution is proposed – the introduction of oat flour in the composition of the sauce formulation as a thickener and structure-forming agent in an amount of 3.5 % per total mass of sauce.

For citation

Shchetinsky, V. V. et al. 2024. Development of a technological solution aimed at improving the consumer properties of a new fish culinary product enriched with chondroitin sulfate of thorny skate. *Vestnik of MSTU*, 27(3), pp. 424–436. (In Russ.) DOI: <https://doi.org/10.21443/1560-9278-2024-27-3-424-436>.

Введение

Растущую актуальность разработки технологий обогащенных рыбных продуктов в Российской Федерации обуславливают сразу несколько важных факторов, на которых стоит остановиться подробнее.

Первый фактор – наиболее значимый – это объективная оценка состояния здоровья населения страны, в особенности регионов с неблагоприятными природно-климатическими факторами, к которым относятся обширные территории в Арктической зоне Российской Федерации (АЗРФ), а также населения промышленно-развитых регионов с неблагоприятной экологической оценкой.

Отечественные и зарубежные специалисты – медики и гигиенисты – отмечают необходимость системной профилактики влияния на здоровье людей специфических для АЗРФ, признанной "абсолютно дискомфортной для жизнедеятельности человека территорией", негативных факторов, таких как систематический холодный стресс, длительная полярная ночь, недостаток кислорода в атмосфере, постоянные геомагнитные бури и повышенный уровень электромагнитного поля атмосферы (Коннова и др., 2019).

Наличие этих негативных факторов у работающего населения обуславливает рост заболеваемости до уровня, превышающего аналогичные показатели по отдельным классам болезней (органов дыхания, сердечно-сосудистой системы, онкозаболеваний) в других регионах России, что сказывается на сокращении продолжительности жизни и росте показателя смертности (Сюрин и др., 2019). Смертность населения АЗРФ от болезней (в соответствии с международной классификации болезней 10 пересмотра – А00-Т98) находится на более высоком уровне по сравнению со средними показателями по России. Так, смертность от болезней системы кровообращения в пяти регионах Российской Арктики из девяти (Республика Карелия, Республика Коми, Архангельская и Мурманская области, Красноярский край) колеблется от 649,8 до 793,1 случаев на 100 тыс. населения при среднем по России значении этого показателя – 640,8. Аналогичная тенденция наблюдается по смертности от новообразований и туберкулеза (Липатова и др., 2023).

При этом в профилактике специфической для АЗРФ заболеваемости основной упор делается на сознательную коррекцию образа жизни и санитарное просвещение населения, включающее пропаганду здорового образа жизни, здорового питания, отказа от вредных привычек, а также на доступность спорта для широких слоев населения (Lyon et al., 2007; Коннова и др., 2019).

Социологические исследования последних лет показывают пусть медленно, но неуклонно растущую осведомленность россиян, в особенности молодежи, в сфере здорового образа жизни (Черепанова и др., 2015). Такая тенденция не может не радовать. Сегодня, практически в каждом супермаркете имеются целые отделы или, как минимум, секции с продуктами здорового питания в широком ассортименте – продукты без глютена и с пониженным содержанием сахара, продукты, обогащенные пищевыми волокнами, витаминами, микро- и макроэлементами, биологически-активные добавки, направленные на профилактику конкретных заболеваний и нутриентно-дефицитных состояний.

Вторым фактором является растущая конкуренция среди отечественных производителей продуктов питания, заставляющая предприятия всерьез и на постоянной основе заниматься расширением ассортимента производимой продукции для закрепления своего положения на рынке и удержания потребителя. С учетом первого фактора такое расширение ассортимента происходит отчасти за счет полифункциональных и обогащенных продуктов, разработанных на основе базовых технологий, реализуемых на предприятиях. Немаловажным стимулирующим фактором для производителей является возможность извлекать дополнительную прибыль за счет "наценки" на улучшенные потребительские свойства продуктов здорового питания. Обогащенные и функциональные продукты потребитель воспринимает как продукты более высокого качества, более безопасные, произведенные по экологически чистым технологиям из натуральных ингредиентов.

Третий фактор – это проблема растущего дефицита пищевого сырья, формирующая запрос на вовлечение в переработку новых и малоиспользуемых его видов. В этом случае, как показывает опыт, привлечение потребителя к продукции из новых видов сырья происходит максимально эффективно, за счет формирования у продукта каких-либо функциональных или диетических свойств, компенсирующих в некотором смысле осторожность в отношении новинки.

Как итог все стратегии и концепции развития пищевой отрасли и программы повышения качества жизни населения Российской Федерации, принимаемые или актуализируемые в последние годы, содержат положения об усилении роли продуктов обогащенных ценными пищевыми компонентами, функциональной и диетической направленности, специализированных продуктов с улучшенным составом.

Так, Стратегия развития рыбохозяйственного комплекса РФ на период до 2030 г. и план мероприятий по ее реализации называет одним из современных вызовов рост интереса к здоровому образу жизни, что находит отражение в изменяющихся пищевых предпочтениях¹.

¹ Стратегия развития рыбохозяйственного комплекса Российской Федерации на период до 2030 года и плана мероприятий по ее реализации // Правительство Российской Федерации : официальный сайт. 2024. URL : <https://docs.cntd.ru/document/563879849> (дата обращения 20.02.2024).

Однако, перечислив стимулы к развитию производства рыбных обогащенных продуктов функционального назначения и, соответственно, к разработке технологий их изготовления, нельзя не обозначить имеющиеся риски, среди которых основными являются потребность в обновлении производственных фондов и привлечение достаточных для этого инвестиций в отрасль. Государственная политика привлечения инвестиций в глубокую рыбопереработку, реализуемую как непосредственно на промысле, так и на берегу в обмен на квоты, дает свои результаты.

В Мурманской области за последние годы появилось сразу несколько крупных современных рыбоперерабатывающих комплексов. При этом все они ориентированы на неглубокую разделку и выпуск мороженой рыбопродукции, преимущественно, филе трески высшей категории плюс переработку сопутствующего прилова. Производство обогащенных и полифункциональных рыбных продуктов, которое характеризуется сложной логистикой, многоэтапностью, потребностью в большом количестве сырьевых компонентов и специализированном технологическом оборудовании, пока развито недостаточно.

Наибольший интерес к новым технологиям в области полифункциональных и обогащенных рыбных продуктов проявляют относительно небольшие региональные компании ("Мурманфиш", "Норд-Вест Флот Компани" – г. Мурманск, Мурманская область) и крупные компании (AGAMA – г. Истра, Московская область). Менеджмент перечисленных компаний рассматривает расширение ассортиментной линейки своей продукции за счет продуктов здорового питания как реальное конкурентное преимущество на региональных розничных рынках.

Накопленный опыт разработки полифункциональных продуктов из рыбного сырья Северного бассейна (Raybulov et al., 2020; Shchetinskiy et al., 2020) позволил сформировать алгоритм, включающий основные этапы:

- 1) выбор по результатам маркетингового исследования наиболее привлекательного для потребителей рыбной кулинарии продукта – базы для разработки нового обогащенного продукта с использованием ската звездчатого;

- 2) выбор и обоснование основного и дополнительного рыбного сырья, подбор вспомогательных компонентов и разработка оптимальной рецептуры нового продукта, которая обеспечит содержание хондроитинсульфата в достаточном количестве для присвоения продукту статуса "обогащенный";

- 3) совершенствование технологии изготовления продукта для улучшения его потребительских свойств и увеличения срока годности;

- 4) проверка санитарно-гигиенических показателей и установление срока годности;

- 5) разработка патента на продукт.

Ключевым этапом, определяющим все последующие действия, является выбор и обоснование основного и дополнительного рыбного сырья.

На сегодня имеется успешный опыт разработки ассортиментной линейки полифункциональных продуктов на основе малоиспользуемого рыбного сырья Северного бассейна – ската звездчатого *Amblyraja radiata* (Donovan, 1808), в составе которого содержится функциональный пищевой ингредиент хондроитинсульфат (Shchetinskiy et al., 2020; Yach et al., 2005).

Скат присутствует в прилове при промысле тресковых рыб, имеет также хорошие перспективы как объект целенаправленного ярусного лова в Баренцевом море (Grekov et al., 2011; Cnocob..., 2013).

Скат звездчатый характеризуется высоким содержанием полноценного по аминокислотному составу белка (от 14 до 17 %), низким содержанием жира (до 2 %) и высоким (до 300 мг%) содержанием хондроитинсульфата (Novoa-Carballal et al., 2017; Panagos et al., 2014; Krichen et al., 2018).

Хондроитинсульфат (ХС) признан соединением с доказанным противовоспалительным действием на хрящевую ткань и суставы человека, а также соединением с ангиопротекторным и хондропротекторным действием, что позволяет отнести ХС к физиологически функциональным пищевым ингредиентам, пригодным для обогащения им продуктов питания, направленных на профилактику воспалительных заболеваний опорно-двигательного аппарата человека (Krichen et al., 2017; Miraglia et al., 2016). Проблемой ската является низкий выход съедобной части – крыльев (до 26 % от массы целой рыбы) и высокое содержание мочевины в мышечной ткани, характерное для всех хрящевых рыб (Yach et al., 2005). С учетом теххимического состава скат является классическим примером сырья, которое целесообразно рассматривать как источник функционального пищевого ингредиента.

При разработке технологий обогащенных рыбных продуктов на основе его использования были успешно решены несколько технологических проблем – снижения массовой доли мочевины, разработки и оптимизации рецептурного состава продуктов, подбора оптимального рыбного компонента-носителя, более привычного для потребителя и облегчающего вывод нового продукта на рынок (Shchetinskiy et al., 2020).

Проведенные исследования показали, что таким компонентом-носителем являются тресковые рыбы в соотношении со скатом 1 : 1, которое обеспечивает сбалансированный аминокислотный состав готовых продуктов, прекрасные органолептические свойства и более привлекательную себестоимость по сравнению с аналогами из тресковых рыб без добавления ската (Shchetinskiy et al., 2020; Yach et al., 2005).

Разработаны и запатентованы способы эффективного снижения массовой доли мочевины в результате теплового разложения этого соединения в процессе бланширования паром, водой, а также при терморadiационном нагреве (*Снособ...*, 2013).

С учетом изложенного цель исследования – разработка технологии рыбного кулинарного изделия, обогащенного ХС ската звездчатого *Amblyraja radiata* (Donovan, 1808), который является массовым приловом при донном промысле тресковых рыб в Баренцевом море и мало используется в настоящее время на рыбоперерабатывающих предприятиях Мурманской области (Россия).

Поставленная цель достигается решением задач:

- исследовать предпочтения потребителей в отношении рыбных кулинарных изделий;
- разработать технологическую схему изготовления рыбного кулинарного изделия и предложить меры, направленные на стабилизацию органолептических свойств сливочного соуса в процессе хранения продукта длительное время в замороженном виде;
- исследовать реологические показатели соуса, физико-химические, микробиологические и органолептические изменения готового изделия в процессе длительного хранения в замороженном виде.

Материалы и методы

Объектом исследования являлись:

1. Коммерческие образцы ската звездчатого крыльев мороженых и коммерческие образцы трески обезглавленной потрошеной мороженой или охлажденной производства АО "Норд Вест Флот Компани" г. Мурманск (Россия). Скот звездчатый *Amblyraja radiata* (Donovan, 1808) широко распространен по всей акватории Баренцева моря, его вылов не лимитируется величиной общего допустимого улова (ОДУ), при этом промысловые запасы делают возможным и целесообразным специализированный промысел.

2. Опытные образцы рыбных кулинарных изделий, обогащенных ХС в составе хрящей и мяса крыльев ската звездчатого – "Скат и треска, запеченные с картофелем и грибами в сливочном соусе", изготовленные по разработанной технологии.

В работе использованы современные методы исследования. Органолептическую оценку опытных образцов рыбных кулинарных изделий, а именно показателей "внешний вид", "запах", "вкус", "консистенция", проводили расширенным составом дегустационной комиссии Мурманского арктического университета (г. Мурманск, Россия) в соответствии с требованиями ГОСТ 7631-2008². Для оценки образцов использовали разработанную словесную шкалу.

Массовую долю азота летучих оснований (АЛО), мг%, определяли стандартным методом по ГОСТ 7636-85 отгонкой свободных и связанных летучих оснований с паром и последующем взаимодействии образующегося аммиака с серной кислотой, избыток которой оттитровывали щелочью. Массовую долю аминного азота (АА), мг%, определяли методом формольного титрования, в основе которого связывание аминогрупп в составе аминокислот с формалином и косвенное определение их количества по результатам титрования карбоксильных групп. Перед исследованием из пробы продукта экстрагируют водой азотистые соединения, в полученной вытяжке осаждают белок 20%-й трихлоруксусной кислотой, после чего определяют АА в фильтрате. Массовую долю мочевины в мышечной ткани крыльев (боковых плавников) ската звездчатого определяли колориметрическим методом, основанном на цветной реакции мочевины с антипирином в присутствии диацетилмонооксида в кислой среде (*Shchetinskiy et al.*, 2020).

Показатели безопасности определяли стандартными методами: КМАФАнМ (количество мезофильных аэробных и факультативно анаэробных микроорганизмов) – по ГОСТ 10444.15-94, БГКП (бактерии группы кишечной палочки) – ГОСТ 31747-2012, *Staphylococcus aureus* – ГОСТ 31746-2012, *Salmonella* – ГОСТ 31659-2012 (ISO 6579/2002), СПК (сульфитредуцирующие клостридии) – ГОСТ 29185-2012 (ISO 15213/2003), дрожжи и плесени – ГОСТ 10444/12-2013.

График исследований по гигиеническому обоснованию сроков годности продукта составлен в соответствии с требованиями МУК 4.2.1847-04 и с учетом требований СанПиН 2.3.2.1324-03.

Эффективную вязкость соусов определяли на реометре RheolabQC (Anton Paar, Австрия, 2017) с измерительной ячейкой СС39, состоящей из двух коаксиальных цилиндров: неподвижного наружного, диаметром 42 мм и вращающегося внутреннего, диаметром 38,7 мм, помещенных в термостатирующую камеру. Длина измерительной поверхности внутреннего цилиндра – 60 мм, скорость сдвига $\gamma = 1 \text{ с}^{-1}$. Температура измерения – $60 \pm 0,1 \text{ }^\circ\text{C}$.

Результаты экспериментов были выражены в виде средних значений со стандартным отклонением ($n = 3$), для расчета стандартного отклонения использовали метод наименьших квадратов.

Розничный региональный рынок рыбных кулинарных продуктов промышленного производства изучали полевым методом на базе предприятий розничной торговли в составе крупных федеральных торговых сетей, представленных в г. Мурманске – "Окей", "Пятерочка", "Перекресток", "Лента", "Магнит". Потребительские предпочтения изучали методом анонимного письменного анкетирования. Период исследования составил

² Информация о нормативных актах и ГОСТах представлена в Приложении.

12 месяцев (2023 г.), общее количество опрошенных – более 150 человек всех возрастов, уровней дохода, мужчины и женщины.

Результаты и обсуждение

Анализ результатов проведенного в период 2023–2024 гг. маркетингового исследования позволил определить приоритетный ассортимент рыбной кулинарной продукции и ее основные потребительские свойства. Учитывая заинтересованность значительной части потребителей в увеличении срока годности продукции и их негативное отношение к использованию консервантов, было принято решение использовать шоковую заморозку для консервирования разрабатываемого продукта – рыбы запеченной со сложным овощным гарниром в сливочном соусе.

Технологическая схема изготовления нового продукта включает в себя следующие операции: (1) прием и хранение сырья – (2) подготовка сырья (для замороженного сырья – размораживание, сортирование, мойка) – (3) бланширование крыльев ската – (4) разделка, зачистка, порционирование – (5) предварительная термическая обработка (обжаривание рыбы, жарка грибов, пассерование лука и т. д.) – (6) приготовление сливочного соуса – (7) соединение компонентов продукта в потребительских формах – (8) финальная термическая обработка (запекание) – (9) охлаждение – (10) укупоривание – (11) замораживание – (12) маркирование – (13) упаковка – (14) хранение.

Главной особенностью предложенной технологической схемы является использование мяса крыльев (боковых плавников) ската звездчатого в качестве основного рыбного сырья. Скат звездчатый – хрящевая рыба, особенностью обмена веществ которого является высокое содержание мочевины в мышечной ткани, что долгие годы препятствовало промышленной добыче ската и его переработке на пищевые цели. При этом белок ската – полноценный, содержит все незаменимые аминокислоты, а необработанные крылья ската, как установлено экспериментально, содержат до 300 мг% ХС, при этом после технологической обработки в готовом продукте массовая доля ХС составляет не менее 220 мг%, что соответствует 31 % от физиологической нормы потребления, установленной для глюкозамина (700 мг в сутки).

Для снижения массовой доли мочевины в мясе крыльев ската их бланшируют, эффективность тепловой обработки подтверждает уменьшение доли мочевины до 76 % от первоначального содержания (*Yach et al., 2005*). Бланширование ведут в варочном электрическом котле – крылья ската на сетках из пищевой стали погружают в воду (температура воды от 95 до 98 °С, продолжительность операции 1–3 мин), после чего извлекают из котла, охлаждают на воздухе до температуры не выше 45 °С и передают на следующую технологическую операцию. Бланширование оказывает существенное влияние на технологические свойства сырья – размягчается соединительная ткань, что упрощает разделку, подразумевающую удаление кожи и отделение мяса от хрящей. Особое внимание при этом необходимо уделять контролю над длительностью процесса, которая будет зависеть, в первую очередь, от размерно-массовых характеристик бланшируемых крыльев. При излишнем тепловом воздействии технологические свойства мяса значительно ухудшаются, контроль осуществляется визуально. Разделку, зачистку и порционирование осуществляют с учетом особенностей строения крыльев ската. На коже внешней поверхности крыла имеются наросты, полноту удаления которых необходимо строго контролировать, попадание колючек в готовое блюдо недопустимо. Под кожей как с внешней, так и с внутренней стороны крыла находится мышечная ткань, центральная часть крыла – это хрящевые лучи. При разделке крыла после бланширования и охлаждения удаляют кожу и отделяют мясо от хряща. При достаточной продолжительности бланширования отделение хрящей от мяса происходит без значительного усилия, при этом мясо сохраняет свою форму, мышечная ткань не распадается на отдельные волокна.

Разработанная технологическая схема позволяет придать кулинарному продукту сочетание вкусов обжаренной (предварительная термическая обработка – обжаривание) и запеченной рыбы (финальная тепловая обработка – запекание), а также подразумевает сложный многокомпонентный состав готового блюда (что является основной особенностью салатов и суши). Таким образом, разработанный продукт отвечает предпочтениям значительной части потребителей и сочетает в себе свойства наиболее востребованных продуктов в категории рыбной кулинарии.

При замораживании продукта было отмечено значительное ухудшение органолептических показателей сливочного соуса на основе натуральных сливок 22%-й жирности – имело место расслоение, отделение жидкой части и жировой компоненты сливок. Для улучшения внешнего вида и консистенции соуса было принято решение ввести в его состав загуститель. Загустители могут быть натурального происхождения либо синтезированные. Наличие в составе продукта не натуральных пищевых добавок однозначно негативно воспринимается потребителем. По этой причине рассматривали только натуральные загустители – традиционно используемую для приготовления белых соусов пшеничную муку, а также рисовую, овсяную и кукурузную, обладающие рядом преимуществ, среди которых повышенная биологическая ценность, отсутствие глютена, лучшая влагоудерживающая способность по сравнению с пшеничной мукой.

Исследовали реологические свойства соусов, полученных с использованием натуральных загустителей, до шокового замораживания, при хранении в замороженном виде и после размораживания с подогревом до температуры подачи блюда (60 ± 2) °С. Для оценки органолептических показателей соусов разработали

шкалу органолептической оценки. Коэффициенты весомости отдельных показателей, включенных в шкалу, назначали экспертным методом. Наибольший коэффициент значимости был присвоен показателю "консистенция".

Загуститель вносили в сливки в количестве 1,5, 2,5, 3,5 и 4,5 % на общую массу соуса. Замораживание производили в шокере, охлаждающая среда – воздух. Температура хранения замороженных образцов минус (21 ± 1) °С. Срок хранения до размораживания и проведения повторного исследования реологических показателей – 7 суток. Результаты органолептической оценки соусов приведены на рис. 1.

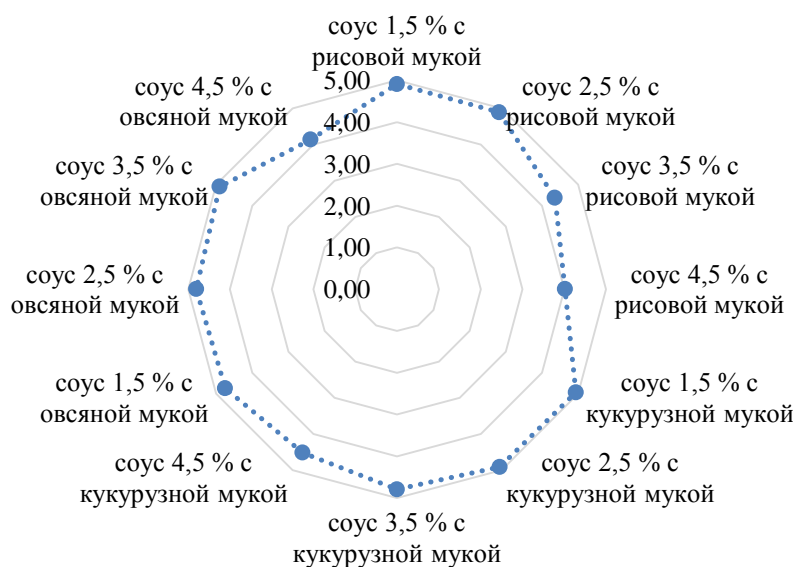


Рис. 1. Результаты органолептической оценки опытных образцов сливочного соуса с добавлением загустителей после хранения и дефростации (суммарный балл по пятибалльной шкале оценки).

Источник: составлено авторами

Fig. 1. Results of organoleptic evaluation of experimental samples of cream sauce with the addition of thickeners after storage and defrosting (total score on a five-point assessment scale).

Source: compiled by the authors

Для оценки реологических свойств соусов измеряли эффективную вязкость образцов. На рис. 2–5 приведены результаты измерений до шокового замораживания и после размораживания.

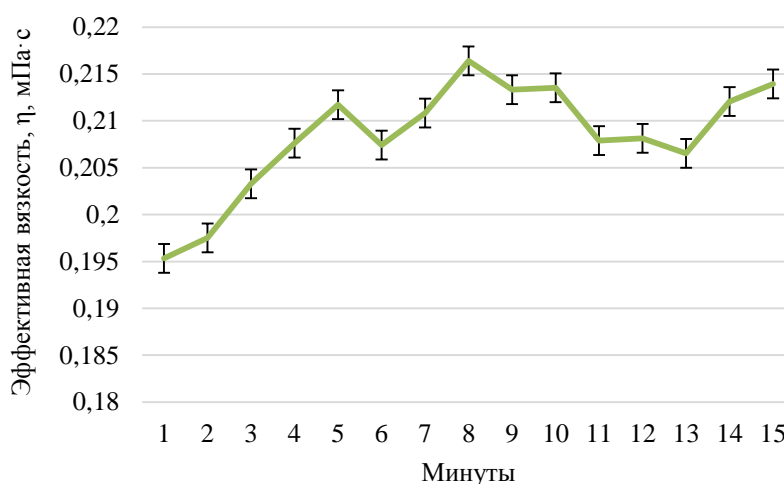


Рис. 2. Показатель эффективной вязкости соуса с добавлением загустителя овсяной муки в концентрации 3,5 % до шоковой заморозки. Источник: составлено авторами

Fig. 2. Effective viscosity index of sauce with the addition of oatmeal thickener at a concentration of 3.5 % before shock freezing. Source: compiled by the authors

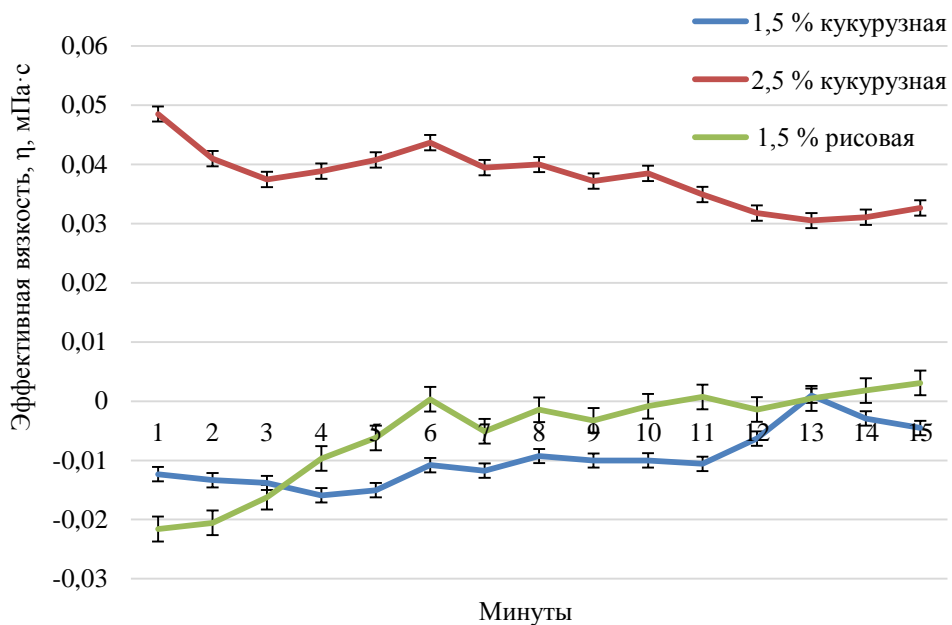


Рис. 3. Показатель эффективной вязкости соусов с добавлением загустителей до шоковой заморозки.

Источник: составлено авторами

Fig. 3. Effective viscosity index of sauces with added thickeners before shock freezing.

Source: compiled by the authors

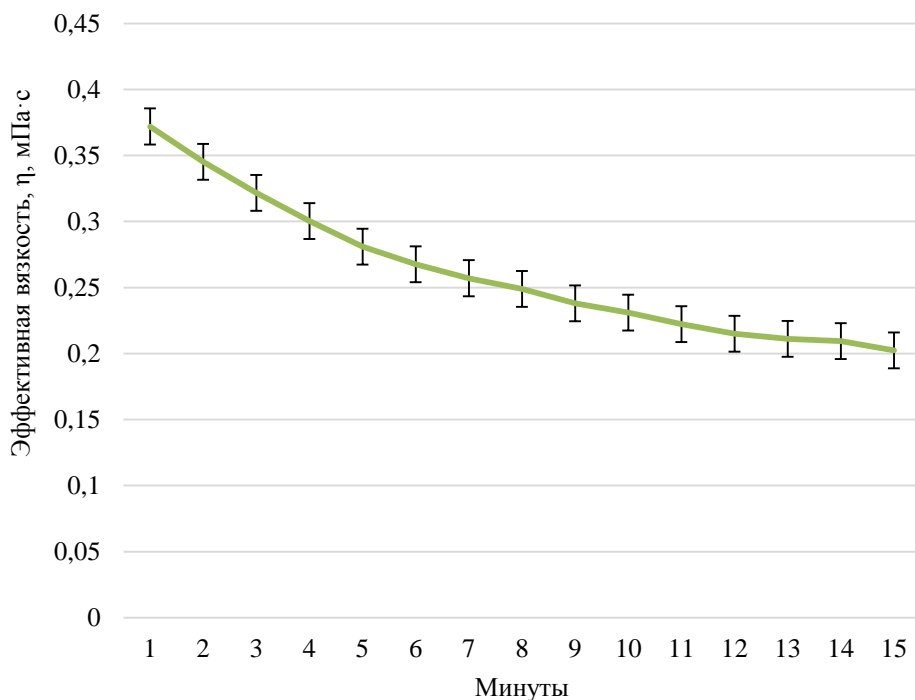


Рис. 4. Показатель эффективной вязкости соуса с добавлением загустителя овсяной муки

в концентрации 3,5 % после шоковой заморозки. Источник: составлено авторами

Fig. 4. Effective viscosity index of sauce with the addition of oatmeal thickener at a concentration of 3.5 % after shock freezing. Source: compiled by the authors

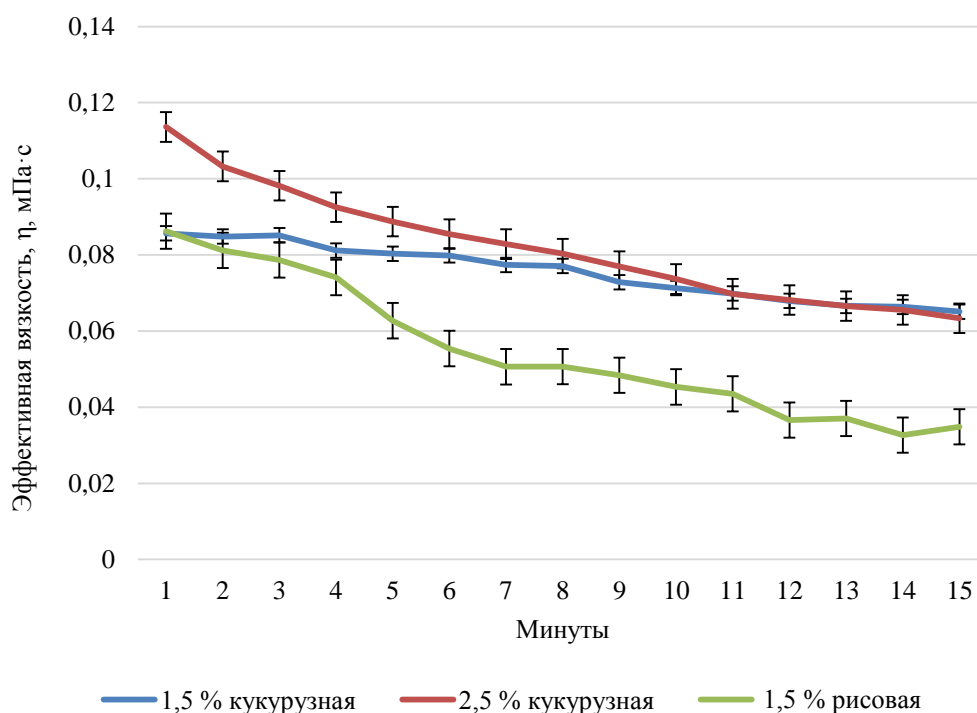


Рис. 5. Показатель эффективной вязкости соусов с добавлением загустителей после размораживания.

Источник: составлено авторами

Fig. 5. Effective viscosity index of sauces with added thickeners after defrosting.

Source: compiled by the authors

В течение всего периода хранения продукта в замороженном виде органолептические характеристики соуса не изменялись сколько-нибудь существенно. Консистенция после размораживания сохранилась, расслоение соуса отсутствовало.

Результаты исследования биохимических изменений в продукте в процессе хранения представлены на рис. 6 и 7.

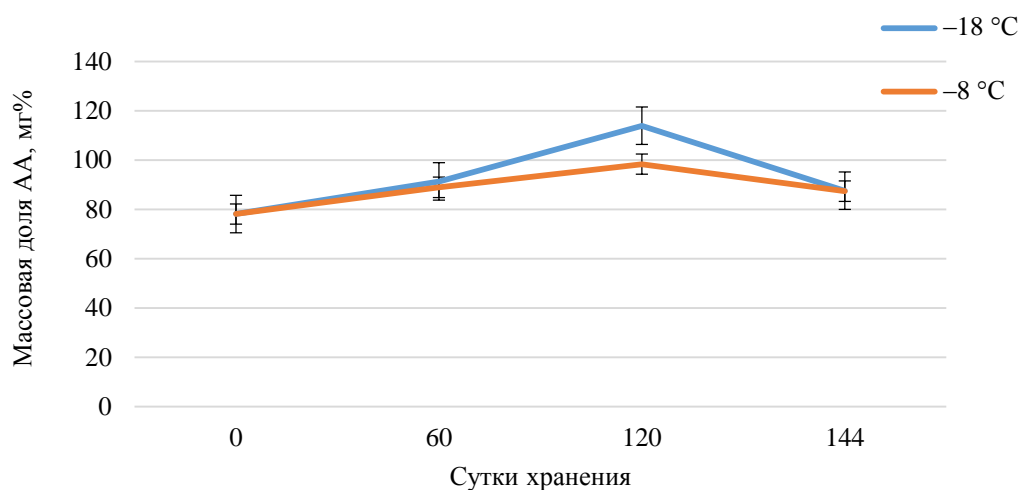


Рис. 6. Изменение показателя АА при хранении готовой продукции при основном (минус 18 °С) и аггравированном (минус 8 °С) температурных режимах. Источник: составлено авторами

Fig. 6. Change in the amino nitrogen index during storage of finished products at the basic (minus 18 °C) and aggravated (minus 8 °C) temperature conditions. Source: compiled by the authors

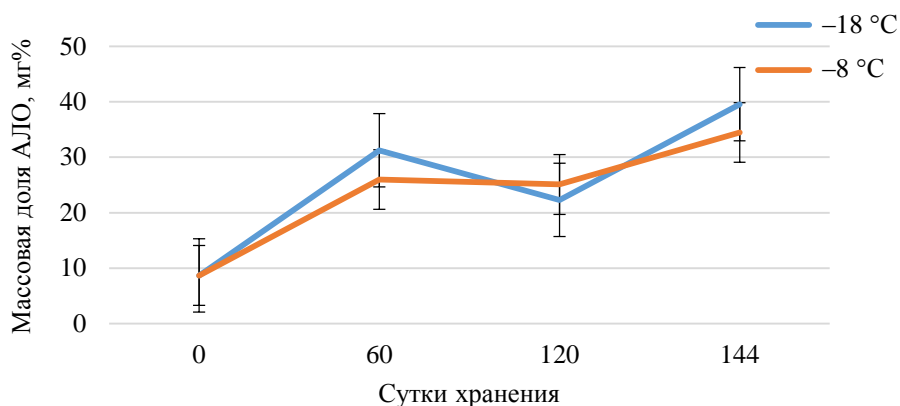


Рис. 7. Изменение показателя АЛО при хранении готовой продукции при основном (минус 18 °С) и агgravированном (минус 8 °С) температурных режимах. Источник: составлено авторами
 Fig. 7. Change in the volatile nitrogen bases index during storage of finished products at the basic (minus 18 °C) and aggravated (minus 8 °C) temperature conditions. Source: compiled by the authors

На рис. 8 представлены результаты микробиологических исследований продукта, подвергнутого шоковому замораживанию и последующему низкотемпературному хранению в течение 144 суток с целью установления срока годности в 120 суток при температуре не выше минус 18 °С.

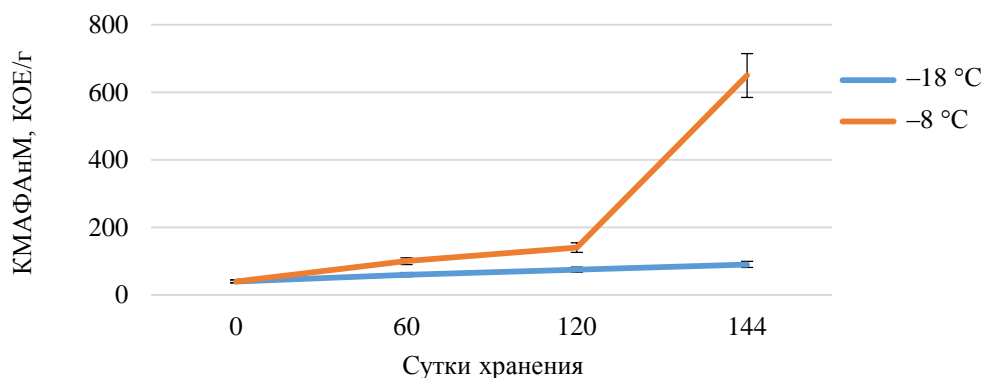


Рис. 8. Изменение показателя КМАФАнМ при хранении готовой продукции при основном (минус 18 °С) и агgravированном (минус 8 °С) температурных режимах. Источник: составлено авторами
 Fig. 8. Change in the number of mesophilic aerobic and facultative anaerobic microorganisms indicator during storage of finished products at the basic (minus 18 °C) and aggravated (minus 8 °C) temperature conditions. Source: compiled by the authors

За весь период хранения как при температуре хранения замороженных продуктов (не выше минус 18 °С), так и при агgravированной температуре хранения (минус 8 °С) требования технического регламента Евразийского экономического союза "О безопасности рыбы и рыбной продукции" (ТР ЕАЭС 040/2016) не нарушены, допустимое содержание КОЕ всех микроорганизмов не превышено (рис. 8).

Анализ рис. 1 показал, что высокие оценки (свыше 4,89) получили опытные образцы соусов – с добавлением 1,5 % и 2,5 % кукурузной муки; 1,5 % рисовой муки и 3,5 % овсяной муки. Данные соусы обладали приятным сливочным ароматом без посторонних запахов и привкусов и однородной консистенцией. Соус готовили, нагревая сливки с поваренной солью (0,2 % на общую массу) до температуры 80 °С, затем небольшую часть сливок использовали для смешивания с навеской загустителя, приливая небольшими порциями при постоянном интенсивном перемешивании, избегая образования комков до формирования кремовой консистенции, после чего вносили подготовленный загуститель при постоянном перемешивании в основной объем сливок.

При выбранных условиях приготовления соуса отмечены следующие особенности. Для всех опытных образцов кулинарного изделия характерно уменьшение значений динамической вязкости соуса с кукурузной мукой после размораживания. Для соусов с добавлением рисовой муки после размораживания разница в значениях динамической вязкости соуса существенна для образцов с концентрацией загустителя менее

4,5 %. Динамическая вязкость образцов с добавлением овсяной муки сопоставимо увеличивается для каждого опытного образца и после их размораживания приближается к уровню "до замораживания", оставаясь несколько выше. Анализ представленных на рис. 2–5 данных позволяет выбрать оптимальным, т. е. обеспечивающим наилучшие органолептические свойства кулинарного изделия после шоковой заморозки, длительного низкотемпературного хранения, размораживания и доведения до температуры подачи (60...65 °С), внесение в соус в качестве загустителя овсяной муки в количестве 3,5 % на общую массу соуса.

Аналогичные результаты были получены при исследовании влияния замораживания и низкотемпературного хранения на реологические показатели и органолептические свойства томатных соусов, приготовленных на основе молочной сыворотки с добавлением овсяной муки. Наилучшие органолептические свойства показал томатный соус с добавлением овсяной муки в концентрации 3,56 % (Бурова, 2017).

В настоящее время в литературе отсутствуют данные о биохимических изменениях белков рыбного кулинарного продукта с добавлением сливочного соуса после шокового замораживания в процессе длительного низкотемпературного хранения. Проведенные исследования восполняют этот пробел. Анализ рис. 6 показал, что количество АА сразу после изготовления продукта (фон) достаточно велико, что объясняется многократной тепловой обработкой всех компонентов продукта и, как следствие, глубоким гидролизом белков в его составе. В процессе хранения значение показателя стабильно.

Значения показателя АЛЮ (рис. 7), косвенно характеризующего активность остаточной микрофлоры в соусе в процессе низкотемпературного хранения, нарастают в течение периода хранения плавно как при основной, так и при аггравированной температуре, что коррелирует с данными микробиологических исследований (рис. 8), подтверждающих гигиеническую безопасность продукта в течение всего эксперимента.

С учетом результатов исследований можно обоснованно утверждать, что для увеличения срока годности обогащенного ХС рыбного кулинарного продукта "Скат и треска, запеченные с картофелем и грибами в сливочном соусе" возможно и целесообразно применять шоковое замораживание. Такая технологическая обработка обеспечит при условии последующего низкотемпературного хранения продукта (при температуре не выше минус 18 °С) гигиеническую безопасность разработанного продукта и сохранение отличных органолептических свойств в течение 120 суток.

Заключение

Комплексный подход, реализованный при разработке и совершенствовании технологии обогащенного ХС рыбного кулинарного продукта с использованием ската звездчатого *Amblyraja radiata* (Donovan, 1808), позволил в итоге предложить рыбоперерабатывающим предприятиям пакетное технологическое решение, которое поможет расширить ассортимент востребованной на розничном рынке обогащенной продукции для здорового питания и профилактики распространенных в АЗРФ воспалительных заболеваний опорно-двигательного аппарата и повысить конкурентоспособность производимой продукции.

Проведены исследования спроса на различные виды рыбной кулинарной продукции. На основе выявленных предпочтений потребителей усовершенствована технологическая схема изготовления новой рыбной кулинарной продукции с добавлением ската звездчатого – "Скат и треска, запеченные с картофелем и грибами в сливочном соусе", обогащенной ХС ската звездчатого. Обоснованное по результатам исследований технологическое решение позволило без использования непопулярных у российских потребителей консервантов увеличить срок годности продукта до 120 суток при условии шокового замораживания и хранения при температуре не выше минус 18 °С.

Для улучшения органолептических свойств продукта при шоковом замораживании и длительном хранении в замороженном виде экспериментально обосновано использование в качестве загустителя сливочного соуса овсяной муки (в концентрации 3,5 % на общую массу соуса). Исследованы реологические свойства соусов с различными натуральными загустителями – кукурузной, рисовой и овсяной мукой, результаты подтвердили обоснованность принятых технологических решений. Исследованы показатели качества готовой продукции при хранении в замороженном виде в течение 144 суток, в том числе при аггравированной температуре хранения. Гигиенически подтвержден заявленный срок годности – 120 суток при температуре не выше минус 18 °С.

В целом, разработанная методология позволит в дальнейшем эффективно расширять ассортимент рыбных кулинарных изделий, обогащенных эссенциальными пищевыми ингредиентами для профилактики заболеваний населения АЗРФ.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Библиографический список

Бурова Т. Е. Расширение ассортимента соусов к замороженным готовым блюдам // Международный научно-исследовательский журнал. 2017. № 12–5(66). С. 63–67. DOI: 10.23670/IRJ.2017.66.017. EDN: YNMOVL.

- Коннова Л. А., Львова Ю. В. Природные и антропогенные факторы среды обитания и здоровье населения в арктической зоне Российской Федерации // Вестник Санкт-Петербургского университета государственной противопожарной службы МЧС России. 2019. № 4. С. 117–124. EDN: WLWXBT.
- Липатова Л. Н., Градусова В. Н., Строкан Е. В. Статистическая оценка достижения стратегической цели по продолжительности жизни населения Арктических регионов России // Север и рынок: формирование экономического порядка. 2023. Т. 26, № 3(81). С. 92–106. DOI: <https://doi.org/10.37614/2220-802x.3.2023.81.006>. EDN: FGLDNL.
- Состояние сырьевых биологических ресурсов Баренцева, Белого и Карского морей и Северной Атлантики в 2023 г. / отв. ред. К. М. Соколов. Мурманск : ПИПРО им. Н. М. Книповича, 2023. С. 129.
- Способ получения кулинарной продукции из ската колючего : пат. 2495599 Рос. Федерация / Ю. В. Шокина, Н. Е. Обухова, В. В. Щетинский ; № 2012123490/13 ; заявл. 06.06.2012 ; опубл. 20.10.2013, Бюл. № 29.
- Сюрин С. А., Ковшов А. А. Условия труда и риск профессиональной патологии на предприятиях Арктической зоны Российской Федерации // Экология человека. 2019. № 10. С. 15–23. DOI: <https://doi.org/10.33396/1728-0869-2019-10-15-23>. EDN: PRWHRZ.
- Черепанова В. Н., Шилова Н. Н. Здоровый образ жизни в представлениях молодежи // Вестник Челябинского государственного университета. 2015. № 9(364). С. 197–200. EDN: TXIQVR.
- Grekov A. A., Pavlenko A. A. A comparison of longline and trawl fishing practices and suggestions for encouraging the sustainable management of fisheries in the Barents Sea. Moscow–Murmansk, World Wide Fund For Nature (WWF), 2011. 50 p. (Technical report. Vol. 4.)
- Krichen F., Bougateg H., Sayari N., Capitani F. [et al.]. Isolation, purification and structural characteristics of chondroitin sulfate from smooth hound cartilage: *In vitro* anticoagulant and antiproliferative properties // Carbohydrate Polymers. 2018. Vol. 197. P. 451–459. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2018.06.040>.
- Krichen F., Volpi N., Sila A., Maccari F. [et al.]. Purification, structural characterization and antiproliferative properties of chondroitin sulfate/dermatan sulfate from Tunisian fish skins // International Journal of Biological Macromolecules. 2017. Vol. 95. P. 32–39. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2016.10.108>.
- Lyon P., Alho E.-R., Hillman M., Colquhoun A. Healthier futures: Primary care nurses' food knowledge and patient advice // International Journal of Consumer Studies. 2007. Vol. 31, Iss. 4. P. 397–403. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1470-6431.2007.00585.x>.
- Miraglia N., Bianchi D., Trentin A., Volpi N. [et al.]. Safety assessment of non-animal chondroitin sulfate sodium: Subchronic study in rats, genotoxicity tests and human bioavailability // Food and Chemical Toxicology. 2016. Vol. 93. P. 89–101. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.fct.2016.04.013>.
- Novoa-Carballeda R., Pérez-Martín R., Blanco M., Sotelo C. G. [et al.]. By-products of *Scyliorhinus canicula*, *Prionace glauca* and *Raja clavata*: A valuable source of predominantly 6S sulfated chondroitin sulfate // Carbohydrate Polymers. 2017. Vol. 157. P. 31–37. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2016.09.050>.
- Panagos C. G., Thomson D., Moss C., Bavington C. D. [et al.]. Characterisation of hyaluronic acid and chondroitin/dermatan sulfate from the lumpsucker fish, *C. lumpus* // Carbohydrate Polymers. 2014. Vol. 106. P. 25–33. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2014.01.090>.
- Raybulov S., Shokina Yu. Technology of minced fish canned food from thorny skate, enriched with chondroitin sulfate // KnE Life Sciences. 2020. P. 819–835. DOI: <https://doi.org/10.18502/kl.v5i1.6178>. (International Applied Research Conference "Biological Resources Development and Environmental Management").
- Shchetinskiy V., Petrov B. Exploration of Northern commercial fishing area resources and sustainable use challenges and ways to resolve them // KnE Life Sciences. 2020. P. 763–770. DOI: <https://doi.org/10.18502/kl.v5i1.6165>. (International Applied Research Conference "Biological Resources Development and Environmental Management").
- Yach D., Leeder S. R., Bell J., Kistnasamy B. Global chronic diseases // Science. 2005. Vol. 307, Iss. 5708. P. 317. DOI: <https://doi.org/10.1126/science.1108656>.

References

- Burova, T. E. 2017. Expanding the range of sauces for frozen ready meals. *International Research Journal*, 12–5(66), pp. 63–67. DOI: 10.23670/IRJ.2017.66.017. EDN: YNMOV. (In Russ.)
- Konnova, L. A., Lvova, Yu. V. 2019. Natural and anthropogenic factors of the environment and health of the population in the Arctic zone of the Russian Federation. *Vestnik Saint-Petersburg University of State Fire Service of Emercom of Russia*, 4, pp. 117–124. EDN: WLWXBT. (In Russ.)
- Lipatova, L. N., Gradusova, V. N., Strokan, E. V. 2023. Statistical assessment of the achievement of the strategic goal for life expectancy of the population of the Arctic regions of Russia. *The North and the Market: Forming the Economic Order*, 26(3(81)), pp. 92–106. DOI: <https://doi.org/10.37614/2220-802x.3.2023.81.006>. EDN: FGLDNL. (In Russ.)
- The state of raw biological resources of the Barents, White and Kara Seas and the North Atlantic in 2023. 2023. Ed. K. M. Sokolov. Murmansk. (In Russ.)
- Shokina, Yu. V., Obukhova, N. E., Shchetinsky, V. V. 2013. Method of obtaining culinary products from stingray, Russ. Federation, Pat. 2495599. (In Russ.)

- Syurin, S. A., Kovshov, A. A. 2019. Working conditions and risk of occupational pathology at enterprises in the Arctic zone of the Russian Federation. *Human Ecology*, 10, pp. 15–23. DOI: <https://doi.org/10.33396/1728-0869-2019-10-15-23>. EDN: PRWHRZ. (In Russ.)
- Cherepanova, V. N., Shilova, N. N. 2015. Healthy lifestyle in the views of young people. *Bulletin of Chelyabinsk State University*, 9(364), pp. 197–200. EDN: TXIQVR. (In Russ.)
- Grekov, A. A., Pavlenko, A. A. 2011. A comparison of longline and trawl fishing practices and suggestions for encouraging the sustainable management of fisheries in the Barents Sea. Moscow–Murmansk, World Wide Fund For Nature (WWF). (Technical report. Vol. 4.)
- Krichen, F., Bougatef, H., Sayari, N., Capitani, F. et al. 2018. Isolation, purification and structural characteristics of chondroitin sulfate from smooth hound cartilage: *In vitro* anticoagulant and antiproliferative properties. *Carbohydrate Polymers*, 197, pp. 451–459. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2018.06.040>.
- Krichen, F., Volpi, N., Sila, A., Maccari, F. et al. 2017. Purification, structural characterization and antiproliferative properties of chondroitin sulfate/dermatan sulfate from Tunisian fish skins. *International Journal of Biological Macromolecules*, 95, pp. 32–39. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2016.10.108>.
- Lyon, P., Alho, E.-R., Hillman, M., Colquhoun, A. 2007. Healthier futures: Primary care nurses' food knowledge and patient advice. *International Journal of Consumer Studies*, 31(4), pp. 397–403. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1470-6431.2007.00585.x>.
- Miraglia, N., Bianchi, D., Trentin, A., Volpi, N. et al. 2016. Safety assessment of non-animal chondroitin sulfate sodium: Subchronic study in rats, genotoxicity tests and human bioavailability. *Food and Chemical Toxicology*, 93, pp. 89–101. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.fct.2016.04.013>.
- Novoa-Carballal, R., Pérez-Martín, R., Blanco, M., Sotelo, C. G. et al. 2017. By-products of *Scyliorhinus canicula*, *Prionace glauca* and *Raja clavata*: A valuable source of predominantly 6S sulfated chondroitin sulfate. *Carbohydrate Polymers*, 157, pp. 31–37. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2016.09.050>.
- Panagos, C. G., Thomson, D., Moss, C., Bavington, C. D. et al. 2014. Characterisation of hyaluronic acid and chondroitin/dermatan sulfate from the lumpsucker fish, *C. lumpus*. *Carbohydrate Polymers*, 106, pp. 25–33. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2014.01.090>.
- Raybulov, S., Shokina, Yu. 2020. Technology of minced fish canned food from thorny skate, enriched with chondroitin sulfate. *KnE Life Sciences*, pp. 819–835. DOI: <https://doi.org/10.18502/cls.v5i1.6178>. (International Applied Research Conference "Biological Resources Development and Environmental Management").
- Shchetinskiy, V., Petrov, B. 2020. Exploration of Northern commercial fishing area resources and sustainable use challenges and ways to resolve them. *KnE Life Sciences*, pp. 763–770. DOI: <https://doi.org/10.18502/cls.v5i1.6165>. (International Applied Research Conference "Biological Resources Development and Environmental Management").
- Yach, D., Leeder, S. R., Bell, J., Kistnasamy, B. 2005. Global chronic diseases. *Science*, 307(5708), p. 317. DOI: <https://doi.org/10.1126/science.1108656>.

Сведения об авторах

Щегинский Всеволод Владимирович – ул. Спортивная, 13, г. Мурманск, Россия, 183010;
Мурманский арктический университет, аспирант;
e-mail: seva-7149@mail.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3286-6760>

Vsevolod V. Shchetinsky – 13 Sportivnaya Str., Murmansk, Russia, 183010;
Murmansk Arctic University, Researcher;
e-mail: seva-7149@mail.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3286-6760>

Шокина Юлия Валерьевна – ул. Спортивная, 13, г. Мурманск, Россия, 183010;
Мурманский арктический университет, д-р техн. наук, профессор;
e-mail: shokinayuv@mstu.edu.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6513-1912>

Yulia V. Shokina – 13 Sportivnaya Str., Murmansk, Russia, 183010; Murmansk Arctic University,
Dr Sci. (Engineering), Professor;
e-mail: shokinayuv@mstu.edu.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6513-1912>

Никифоров-Никишин Алексей Львович – Земляной Вал, 73, г. Москва, Россия, 675009;
Московский государственный университет технологий и управления им. К. Г. Разумовского,
д-р биол. наук, профессор; e-mail: a.nikiforov-nikishin@mgutm.ru

Alexey L. Nikiforov-Nikishin – 73 Zemlyanoi Val Str., Moscow, Russia, 675009;
K. G. Razumovsky Moscow State University of Technology and Management;
Dr Sci. (Biology), Professor; e-mail: a.nikiforov-nikishin@mgutm.ru

Нормативные документы, использованные в статье

ГОСТ 7631-2008	Рыба, нерыбные объекты и продукция из них. Методы определения органолептических и физических показателей. М., 2011.
ГОСТ 7636-85	Рыба, морские млекопитающие, морские беспозвоночные и продукты их переработки. Методы анализа. М., 1985.
ГОСТ 10444/12-2013	Микробиология пищевых продуктов и кормов для животных. Методы выявления и подсчета количества дрожжей и плесневых грибов. М., 2014.
ГОСТ 10444.15-94	КМАФАнМ. Методы определения количества мезофильных аэробных и факультативно анаэробных микроорганизмов. М., 2010.
ГОСТ 29185-2012 (ISO 15213/2003)	Продукты пищевые. Методы выявления и определения количества сульфитредуцирующих клостридий. М., 2015.
ГОСТ 31659-2012 (ISO 6579/2002)	Продукты пищевые. Метод выявления бактерий рода Salmonella. М., 2014.
ГОСТ 31746-2012	Продукты пищевые. Методы определения количества мезофильных аэробных и факультативно-анаэробных микроорганизмов. М., 2013.
ГОСТ 31747-2012	Продукты пищевые. Методы выявления и определения количества бактерий группы кишечных палочек (колиформных бактерий). М., 2013.
МУК 4.2.1847-04	Методические указания. 4.2. Методы контроля. Биологические и микробиологические факторы. Санитарно-эпидемиологическая оценка обоснования сроков годности и условий хранения пищевых продуктов. М., 2004.
СанПиН 2.3.2.1324-03	Гигиенические требования к срокам годности и условиям хранения пищевых продуктов. 2.3.2. Продовольственное сырье и пищевые продукты. М., 2004.

УДК 697.94

Численное исследование влияния геометрии элементов сепаратора для очистки пыли пищевых производств на его эффективность

В. Э. Зинуров, В. В. Харьков*, А. А. Абдуллина, И. Н. Мадышев

*Казанский национальный исследовательский технологический университет, г. Казань, Россия;
e-mail: v.v.kharkov@gmail.com, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8219-7323>

Информация о статье Реферат

Поступила
в редакцию
03.05.2024;

получена
после доработки
03.06.2024;

принята
к публикации
07.06.2024

Ключевые слова:

очистка воздуха,
фракционная
эффективность,
CFD,
сепарация,
газопылевой поток

На современных пищевых предприятиях задача обеспечения качественной воздухоочистки от пыли является актуальной. Предложен оригинальный сепаратор-пылеуловитель, особенностью которого является наличие конструктивных элементов различной формы, размещенных в шахматном порядке. Данное конструктивное решение обеспечивает формирование волнообразной структуры течения газопылевого потока внутри устройства. Сепарация твердых частиц из воздуха происходит за счет инерционных и центробежных сил. Цель работы – оценка фракционной эффективности данного сепаратора с конструктивными элементами различной геометрической формы в процессе пылеулавливания. Рассматриваются двутавровые, П-образные, дугообразные и V-образные конструктивные элементы. Исследование выполняется с помощью численного моделирования при изменении скорости газопылевого потока от 0,5 до 3 м/с и размера твердых частиц от 10 до 200 мкм. Установлено, что форма конструктивных элементов в значительной мере определяет эффективность отделения пылевидного материала из потока газа. Конструктивные элементы V-образного типа показали наибольшую среднюю эффективность сепарации по сравнению с другими формами при прочих равных условиях. Это связано с тем, что в таком сепараторе частицы направляются к своему апоксу, где скорость частиц уменьшается, что способствует их последующему оседанию в накопительный бункер. Максимальная эффективность для V-образных элементов составила в среднем 80,1 % при входной скорости газопылевого потока, равной 0,5 м/с. Наименьшая эффективность наблюдалась у двутавровых элементов, так как частицы возвращаются в воздушный поток после отскока от стенок.

Для цитирования

Зинуров В. Э. и др. Численное исследование влияния геометрии элементов сепаратора для очистки пыли пищевых производств на его эффективность. Вестник МГТУ. 2024. Т. 27, № 3. С. 437–446. DOI: <https://doi.org/10.21443/1560-9278-2024-27-3-437-446>.

Numerical study of influencing geometry of separator elements for cleaning dust of food production on its efficiency

Vadim E. Zinurov, Vitaly V. Kharkov*, Azalia A. Abdullina, Ilnur N. Madyshev

*Kazan National Research Technological University, Kazan, Russia;
e-mail: v.v.kharkov@gmail.com, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8219-7323>

Article info

Received
03.05.2024;

received
in revised form
03.06.2024;

accepted
07.06.2024

Key words:

air cleaning,
fractional efficiency,
CFD,
separation,
dusty gas flow

Abstract

At modern food enterprises, the task of providing high-quality air cleaning from dust is relevant. The paper proposes an original dust separator, the peculiarity of which is the presence of structural elements of different shapes, arranged in a chess order. This design solution ensures the formation of a wave-like structure of the gas-dust flow within the device. The separation of solids from air is due to inertial and centrifugal forces. The aim of the work is to evaluate the fractional efficiency of this separator with structural elements of different geometric shape during the dust capture process. The paper considers I-shaped, P-shaped, arc-shaped and V-shaped structural elements. The study is carried out by numerical simulation at a gas dust flow rate of 0.5 to 3 m/s and a particle size of 10 to 200 μm . During the work it has been found that the shape of the structural elements largely determines the efficiency of separation of dust material from the gas stream. The V-shaped design elements have shown the highest average separation efficiency compared to other shapes under other equal conditions. This is due to the fact that in such a separator the particles are directed to their apex, where the velocity of the particles decreases contributing to their subsequent settling into the bunker. The maximum efficiency for V-shaped elements is on average 80.1 % at a gas dust inlet velocity of 0.5 m/s. The lowest efficiency is observed for I-shaped elements, as particles return to the air stream after rebounding from the walls.

For citation

Zinurov, V. E. et al. 2024. Numerical study of influencing geometry of separator elements for cleaning dust of food production on its efficiency. *Vestnik of MSTU*, 27(3), pp. 437–446. (In Russ.) DOI: <https://doi.org/10.21443/1560-9278-2024-27-3-437-446>.

Введение

Сепараторы, работающие в системе газ – твердые частицы, являются обязательным технологическим и вспомогательным оборудованием в пищевой и пищеперерабатывающей промышленности (*Штокман и др., 2007*). Они используются для очистки пыли приточного и рециркуляционного воздуха в системах общеобменной и местной вентиляции, в производственном процессе для удаления пылевидных материалов технологических выбросов, а также для улавливания мелких частиц в системах пневматического транспорта (*Николаев и др., 2015; Турчанинова и др., 2016; Алексеев и др., 2017*). Более того, в пищевых производствах запыленность цеховых помещений часто нарушает санитарный режим предприятия и негативно отражается на качестве готовой продукции, поэтому задача разработки и исследования эффективных устройств для сепарации мелких частиц из газового потока является актуальной (*Рудыка и др., 2010; Чистяков и др., 2012; 2016; Терехова и др., 2019*).

Определяющими физико-химическими характеристиками пылевидных материалов являются дисперсный состав, природа твердых частиц, плотность, удельная площадь поверхности, экстремумы пределов взрываемости, электрические свойства (*Ужов, 1962; Коузов, 1974; Титенок и др., 2020*). Знание этих основных характеристик позволяет оценить степень опасности пыли (*Ведерников и др., 2023*) и является важной информацией для выбора метода сепарации и конструкции подходящего устройства для сепарации мелких частиц из газового потока (*Акулич и др., 2004; Рудыка и др., 2016; Шувалов и др., 2017*).

В пищевой промышленности применяются сепараторы-пылеотделители разной конструкции: гравитационные, инерционные, пористые, поглощающие, электрические, акустические и т. д. (*Shapiro et al., 2005*). Выбор устройства основан на эффективности сепарации в соответствии с характером улавливаемой пыли. Так как параметров, влияющих на фракционную эффективность, множество, то предпочтительно при ее оценке использовать методы численного моделирования (*Шваб и др., 2015; Sun et al., 2021; Амосов и др., 2022; Zinurov et al., 2022a; Тукмаков и др., 2022*).

В статье предлагается оригинальная конструкция сепаратора для улавливания частиц пыли из отходящего воздуха пищевых производств (рис. 1). Основным интересом при расчете сепараторов данного типа является поиск наиболее эффективной геометрической формы конструктивных элементов, которая может влиять на эффективность очистки для частиц различного размера, гидравлическое сопротивление, а также на эрозионный износ рабочих поверхностей.

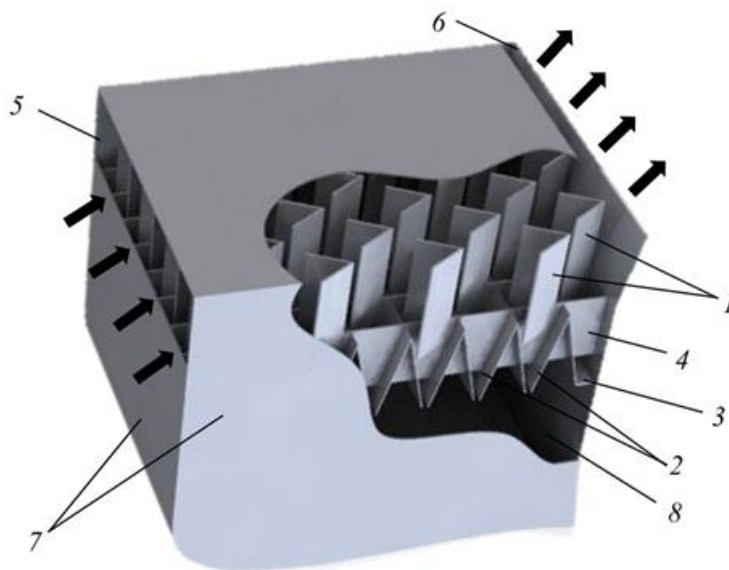


Рис. 1. Сепаратор с V-образными конструктивными элементами (вид с многоступенчатым разрезом):

- 1 – V-образные конструктивные элементы; 2 – наклонные пластины; 3 – выступы;
 4 – прямые пластины; 5 – входное отверстие; 6 – выходное отверстие; 7 – корпус; 8 – бункер
- Fig. 1. Separator with V-shaped structural elements (view with a multi-stage section):
 1 – V-shaped elements; 2 – inclined plates; 3 – flanges; 4 – straight plates; 5 – inlet;
 6 – outlet; 7 – body; 8 – bunker

Целью работы является оценка фракционной эффективности сепаратора с конструктивными элементами различной геометрической формы при очистке газопылевых потоков.

В качестве исследуемых форм конструктивных элементов были приняты двутавровые (*Зинуров и др., 2020; Zinurov et al., 2022b*), П-образные (*Дмитриев и др., 2018*), дугообразные (*Салахова и др., 2022*) и V-образные (рис. 2). Вне зависимости от формы этих элементов устройство сепаратора, принцип работы и механизм улавливания частиц из газопылевого потока сохраняются.

Принцип работы сепаратора с V-образными элементами представлен на рис. 1. Газ с частицами пыли входит в сепаратор-пылеуловитель через входное отверстие 5, далее обтекает конструктивные элементы 1, которые расположены в шахматном порядке в несколько рядов. При их обтекании образуется волнообразная структура газопылевого потока. При этом поток с определенной частотой изменяет свое направление, чередуя его между правой и левой сторонами элементов. Радиус изменения направления газа с частицами соответствует длине стороны элемента V-образной формы, которая может достигать 40 мм. Это приводит к формированию центробежных сил, способных эффективно отделять мелкие частицы от газопылевого потока. Высокие значения центробежных сил могут быть достигнуты при относительно малой скорости на входе в сепаратор, так как радиус поворота небольшой. Также при частой смене направления движения газопылевого потока средние и крупные частицы выбиваются из него за счет инерционных сил. Это приводит к сепарации частиц различного размера из газопылевого потока, которые отлетают к V-образным элементам. В пристеночной области элементов скорость движения газа близка к нулю. Частицы, оказавшиеся в этой области, оседают в бункер 8. Обеспыленный газовый поток покидает сепаратор через выходное отверстие 6. Конструктивно V-образные элементы 1 погружены в пазы, которые проделаны в прямых пластинах 4, выполняющих роль ребер жесткости. К пластинам 4 приварены наклонные пластины 2 и выступы 3, которые предотвращают проскок восходящего газа с частицами.

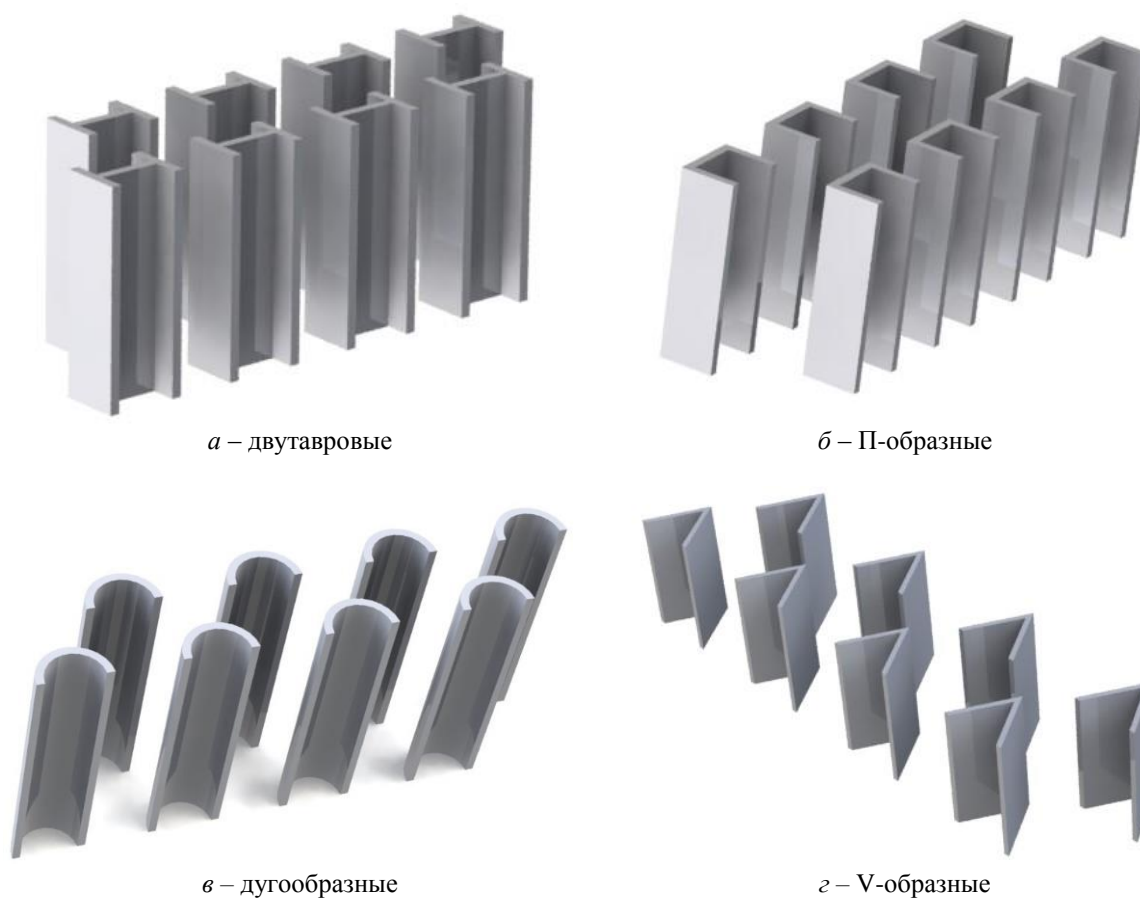


Рис. 2. Формы исследуемых форм конструктивных элементов сепаратора
Fig. 2. Shapes of the studied structural elements of the separator

Материалы и методы

В процессе исследования использовалось численное моделирование в CFD пакете Ansys Fluent, что позволило детально анализировать поведение частиц пыли в сепараторе и оценивать эффективность различных конструктивных решений. Ввиду того что по ширине конструкция не изменяется, применялось условие симметрии. Для упрощения расчетов и имитации реального бункера на нижней стенке (на дне) задавалось условие прилипания частиц. На остальных стенках задавалось условие отражения частиц. Для моделирования движения газового потока применялись уравнения Навье – Стокса. Для расчета турбулентности использовалась модель $k-\omega$ SST, сочетающая преимущества $k-\omega$ модели в пристеночной области и $k-\epsilon$ модели в области, удаленной от стенки. Таким образом, использование модели $k-\omega$ SST позволяет с высокой точностью моделировать поведение потока в углах и у стенок конструктивных элементов сепаратора. Также модель $k-\omega$ SST хорошо адаптируется к режимным изменениям потока, что важно для данной

конструкции сепаратора, работающего с переменными скоростями, вызванными изменением проходного сечения по глубине устройства. Для моделирования динамики дисперсной фазы применялась модель дискретных фаз (DPM), что обеспечивало детальное описание поведения частиц в газопылевом потоке. Взаимодействие между частицами не учитывалось. Моделирование выполнялось в трехмерной постановке. Ключевые геометрические параметры сепаратора согласно рис. 1 включают высоту, длину и количество рядов V-образных конструктивных элементов, составляющих 110 мм, 40 мм и 12 единиц соответственно. Общая высота модели равна 370 мм, глубина погружения конструктивных элементов в пластины составляет 27 мм, а угол между наклонными пластинами – 27°.

В трехмерных моделях других геометрических форм конструктивных элементов изменялись характерные размеры:

для двутавровых – длина элементов и выступов – 40 и 12,5 мм соответственно;

П-образных – длина элементов и выступов – 40 и 12 мм соответственно;

дугообразных – радиус элементов – 20 мм;

V-образных – длина элементов – 40 мм.

В рамках численного моделирования устанавливались граничные условия: скорость газопылевого потока на входе в устройство (W) варьировалась от 0,5 до 3 м/с, а на выходе задавалось атмосферное давление. Размер частиц пыли изменялся в диапазоне от 10 до 200 мкм, а их плотность составляла 3 000 кг/м³.

Для оценки эффективности сепаратора использовалась следующая формула:

$$E = \frac{n_{in} - n_{out}}{n_{in}},$$

где n_{in} – это количество частиц пыли в газовом потоке, поступающем в сепаратор на очистку, шт.; n_{out} – количество частиц пыли в обеспыленном газовом потоке, шт.

Результаты и обсуждение

Исследования подтвердили, что форма конструктивных элементов оказывает значительное влияние на эффективность отделения частиц из газопылевого потока. Определено, что фракционная эффективность сепараторов с различными конструктивными элементами – двутавровыми, П-образными, дугообразными и V-образными – составляет соответственно 50,5 % (рис. 3), 61,1 % (рис. 4), 64,8 % (рис. 5) и 69,2 % (рис. 6) при входной скорости газопылевого потока от 0,5 до 3 м/с и размере частиц от 10 до 200 мкм. Такое изменение эффективности можно объяснить различным характером движения частиц после отскока от стенок конструктивных элементов. Как было отмечено ранее, при выбивании частиц из газопылевого потока, они отлетают к стенкам конструктивных элементов. В зависимости от скорости движения газопылевого потока, размера и плотности частиц они обладают различным начальным импульсом. В случае если начальный импульс частиц был относительно высоким, то существует большая вероятность, что после отскока от конструктивных элементов они попадут обратно в несущую фазу. В противном случае, частицы, отскочив от конструктивных элементов, перемещаются на короткое расстояние – в пристеночную зону, где скорости движения газа близки к нулю. В этой зоне частицы постепенно оседают в бункер. Минимальная эффективность при использовании двутавровых конструктивных элементов связана с тем, что частицы, отскакивая от стенок, направляются обратно в направлении волнообразного газопылевого потока. П-образные, дугообразные и V-образные конструктивные элементы имеют большее внутреннее пространство, поэтому при отскоке частиц от стенок они обычно остаются в пределах внутреннего пространства элементов, не покидая границ. Такое удержание частиц объясняется многократным рикошетом внутри каждого конструктивного элемента, что препятствует их выходу, способствуя увеличению эффективности. Различная геометрическая форма конструктивных элементов создает различную траекторию частиц внутри них. В П-образных и дугообразных конструктивных элементах изгибы и кривизна стенок способствуют созданию дополнительных вихревых потоков. Эти вихри действуют как ловушки для частиц, удерживая их внутри элемента на более длительное время, что увеличивает вероятность их осаждения. V-образные элементы обеспечивают наибольшую эффективность за счет своей остроугольной формы, которая направляет частицы к вершине угла, где они теряют скорость и эффективно осаждаются из-за снижения кинетической энергии. Также установлено, что максимальная эффективность сепаратора достигается при относительно низких входных скоростях ($W \leq 1$ м/с). С увеличением скорости газопылевого потока эффективность E снижается ввиду отскока частиц от конструктивных элементов обратно в поток.

Фракционная эффективность сепаратора с двутавровыми конструктивными элементами составляет в среднем 75,1, 67,1, 43,6 и 16,2 % при скорости газа на входе в него 0,5, 1, 2 и 3 м/с соответственно. При входной скорости газопылевого потока $W \leq 1$ м/с отмечается мгновенный рост эффективности, а с увеличением скорости рост фракционной эффективности при увеличении размера частиц замедляется (рис. 3).

Использование П-образных конструктивных элементов в сепараторе демонстрирует следующую среднюю фракционную эффективность – 74,6, 72,5, 57,4 и 39,8 % при скорости газопылевого потока

на входе в него 0,5, 1, 2 и 3 м/с соответственно. В отличие от двутавровых элементов при равных условиях кривые эффективности на рис. 4 при скорости газопылевого потока $W > 1$ м/с имеют несколько пиков, что объясняется более сложной траекторией частиц во внутреннем пространстве элементов.

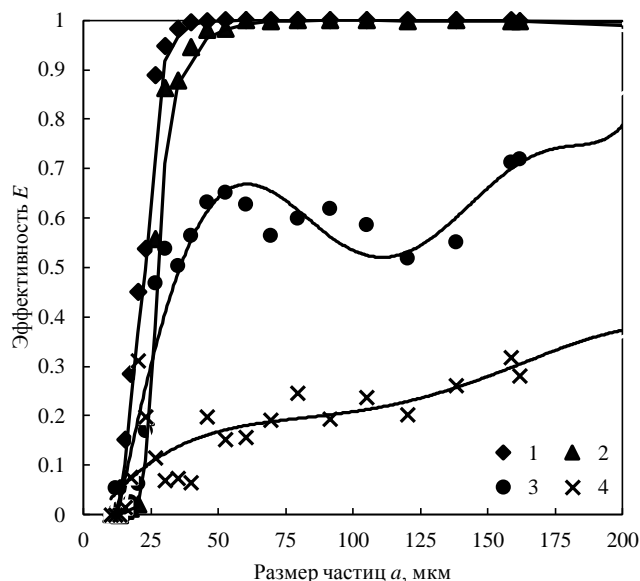


Рис. 3. Фракционная эффективность сепаратора с двутавровыми конструктивными элементами при разных скоростях входящего газопылевого потока W : 1 – 0,5 м/с; 2 – 1 м/с; 3 – 2 м/с; 4 – 3 м/с
Fig. 3. Fractional efficiency of separator with I-shaped structural elements at different inlet velocity of dusty gas flow W : 1 – 0.5 m/s; 2 – 1 m/s; 3 – 2 m/s; 4 – 3 m/s

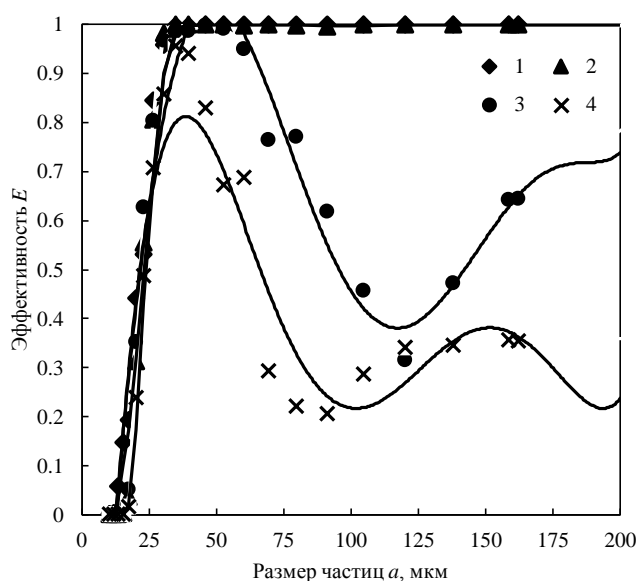


Рис. 4. Фракционная эффективность сепаратора с П-образными конструктивными элементами при разных скоростях входящего газопылевого потока W : 1 – 0,5 м/с; 2 – 1 м/с; 3 – 2 м/с; 4 – 3 м/с
Fig. 4. Fractional efficiency of separator with U-shaped structural elements at different inlet velocity of dusty gas flow W : 1 – 0.5 m/s; 2 – 1 m/s; 3 – 2 m/s; 4 – 3 m/s

При использовании дугообразных конструктивных элементов в сепараторе фракционная эффективность в среднем составляет 77,8, 69,2, 62,7 и 49,4 % при входной скорости газопылевого потока 0,5, 1, 2 и 3 м/с соответственно. В отличие от П-образных конструктивных элементов эффективность для дугообразных элементов, представленных на рис. 5, характеризуется плавными изогнутыми линиями, которые обусловлены естественными вихревыми потоками во внутреннем пространстве. Эти вихри увеличивают время пребывания частиц внутри элемента, повышая вероятность их осаждения.

При использовании V-образных конструктивных элементов в сепараторе фракционная эффективность в среднем составляет 80,1, 76,1, 65,4 и 55,1 % при входной скорости газопылевого потока 0,5, 1, 2 и 3 м/с соответственно. При скорости газопылевого потока $W = 2$ м/с первый и второй пики соответствуют размеру частиц 52 мкм ($E = 99,9\%$) и 138 мкм ($E = 63,7\%$) соответственно. При $W = 3$ м/с первый и второй пики соответствуют размеру частиц 39 мкм ($E = 92,6\%$) и 138 мкм ($E = 25,7\%$). Можно отметить, что при использовании V-образных (рис. 6) относительно П-образных (рис. 4) и дугообразных (рис. 5) конструктивных элементов пики на кривых при входной скорости газопылевого потока $W \geq 2$ м/с располагаются на графиках выше.

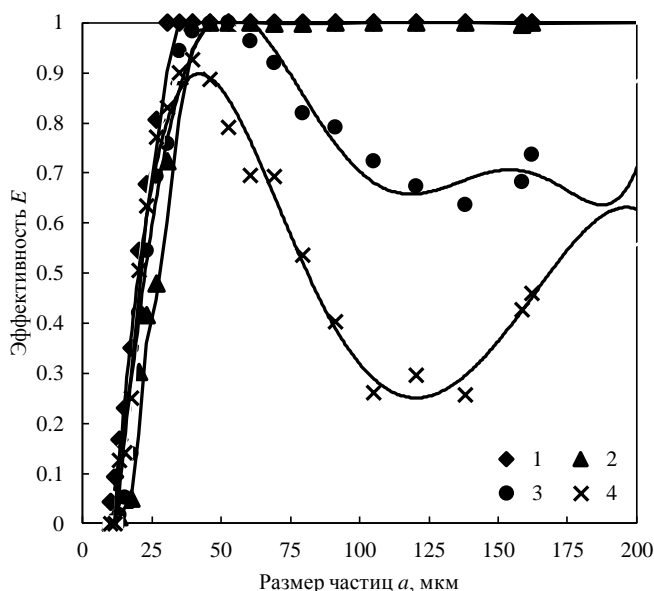


Рис. 5. Фракционная эффективность сепаратора с дугообразными конструктивными элементами при разных скоростях входящего газопылевого потока W : 1 – 0,5 м/с; 2 – 1 м/с; 3 – 2 м/с; 4 – 3 м/с
 Fig. 5. Fractional efficiency of separator with arc-shaped structural elements at different inlet velocity of dusty gas flow W : 1 – 0.5 m/s; 2 – 1 m/s; 3 – 2 m/s; 4 – 3 m/s

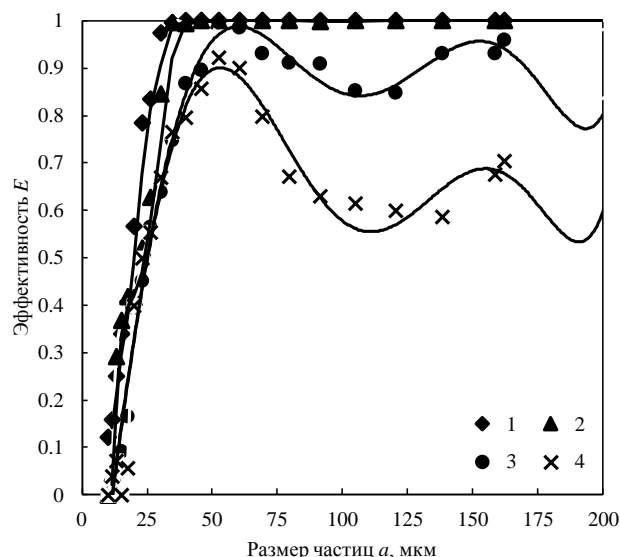


Рис. 6. Фракционная эффективность сепаратора с V-образными конструктивными элементами при разных скоростях входящего газопылевого потока W : 1 – 0,5 м/с; 2 – 1 м/с; 3 – 2 м/с; 4 – 3 м/с
 Fig. 6. Fractional efficiency of separator with V-shaped structural elements at different inlet velocity of dusty gas flow W : 1 – 0.5 m/s; 2 – 1 m/s; 3 – 2 m/s; 4 – 3 m/s

Следовательно, П-образные и дугообразные элементы имеют преимущества за счет создания замедленного потока во внутреннем пространстве, что улучшает условия для осаждения частиц. V-образные элементы демонстрируют наивысшую эффективность благодаря своей угловатой форме, которая направляет частицы к апексу, где они замедляются и эффективно оседают из-за уменьшения кинетической энергии. Двухавровые элементы менее эффективны из-за того, что частицы при отскоке от их стенок быстро возвращаются в направление основного потока, что снижает вероятность их осаждения и уменьшает общую эффективность сепарации. Отличия в геометрической форме конструктивных элементов и динамике газопылевого потока внутри них приводят к заметным различиям в эффективности улавливания частиц сепаратором.

Таким образом, рекомендуется использовать разработанный сепаратор в системах пневматической аспирации различных отраслей пищевой и пищеперерабатывающей промышленности, в частности:

– на масложировых предприятиях, где происходит интенсивное пылеобразование во время технологических операций, связанных с очисткой семян, отделением ядер от лузги, а также при транспортировке и хранении шрота;

– в помещениях мукомольных предприятиях и хлебозаводов, в которых совершаются технологические операции с мукой;

– на предприятиях сахарной промышленности, где пылевыведение наблюдается при сушке сахара и его расфасовке по фракциям, а также при транспортировке и упаковке. Более того, на сахарных заводах также присутствует необходимость очистки воздуха от известковой пыли и пыли жома;

– на крахмало-паточных предприятиях, в которых имеются различные по своим свойствам пыли органического происхождения: сухой крахмал, модифицированный крахмал, глюкоза, декстрин, сухие корма и др.

Заключение

На основе проведенной работы можно сделать следующие основные выводы:

1) геометрическая форма конструктивных элементов играет ключевую роль при улавливании частиц из газопылевого потока. При анализе сравнения двухавровых, П-образных, дугообразных и V-образных конструктивных элементов было выявлено, что V-образные элементы оказываются наиболее эффективными;

2) средняя эффективность сепаратора с использованием двухавровых, П-образных, дугообразных и V-образных элементов составляет 50,5, 61,1, 64,8 и 69,2 % соответственно при скорости газопылевого потока от 0,5 до 3 м/с и размере частиц от 10 до 200 мкм;

3) увеличение скорости газопылевого потока на входе в сепаратор приводит к снижению эффективности вследствие отскока частиц от конструктивных элементов обратно в поток;

4) максимальная эффективность сепаратора достигается при использовании V-образных конструктивных элементов и входной скорости газопылевого потока, равной 0,5 м/с, которая составляет в среднем 80,1 %.

В дальнейших исследованиях планируется сравнить эрозионный износ поверхностей сепаратора при использовании конструктивных элементов различной геометрической формы.

Благодарности

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 24-29-20061, URL: <https://rscf.ru/project/24-29-20061/>.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Библиографический список

- Акулич А. В., Лустенков В. М. Исследование гидродинамики вихревого спирально-конического пылеуловителя для разделения газодисперсных потоков пищевых производств // Известия высших учебных заведений. Пищевая технология. 2004. № 2–3(279–280). С. 99–101. EDN: QCVVRX.
- Алексеев Г. В., Сергачева Е. С., Лей А. Г., Гончаров М. В. Оценка работоспособности новых рабочих органов оболочечного типа для очистки и измельчения пищевого сырья // Вестник МГТУ. 2017. Т. 20, № 3. С. 533–540. DOI: <https://doi.org/10.21443/1560-9278-2017-20-3-533-540>.
- Амосов П. В., Бакланов А. А., Макаров Д. В., Маслбоев В. А. Численное моделирование загрязнения атмосферы в подходах случайного выбора дискретных участков пыления и поинтервального распределения размера пыли // Вестник МГТУ. 2022. Т. 25, № 1. С. 61–73. DOI: <https://doi.org/10.21443/1560-9278-2022-25-1-61-73>. EDN: YVINJK.
- Ведерников С. А., Романюк Е. В., Рассадников Д. Н. Разработка и использование инерционных пылеуловителей для взрывопожароопасных производств // Современные проблемы гражданской защиты. 2023. № 4(49). С. 129–135. EDN: OBTBJV.

- Дмитриев А. В., Зинуров В. Э., Дмитриева О. С., Данг С. В. Моделирование процесса разделения водонефтяной эмульсии в прямоугольном сепараторе // Вестник Казанского государственного энергетического университета. 2018. № 3(39). С. 65–71. EDN: ITHYXX.
- Зинуров В. Э., Дмитриев А. В., Дмитриева О. С. Улавливание мелкодисперсных капель из газового потока в сепарационном устройстве с двутавровыми элементами // Промышленная энергетика. 2020. № 12. С. 47–53. DOI: 10.34831/EP.2020.23.49.008. EDN: OJKKGX.
- Коузов П. А. Основы анализа дисперсного состава промышленных пылей и измельченных материалов. Л. : Химия. Ленингр. отд-ние, 1974. 279 с.
- Николаев А. Н., Нуртдинов Н. М., Харьков В. В. Эффективность инерционного осаждения частиц на каплях жидкости в полых вихревых аппаратах при очистке выбросов пищевых производств // Вестник Технологического университета. 2015. Т. 18, № 3. С. 294–296. EDN: TJUMNB.
- Рудыка Е. А., Батурина Е. В. Анализ пылеочистного оборудования, используемого при производстве растворимых порошков // Вестник Воронежского государственного университета инженерных технологий. 2016. № 2(68). С. 193–196. DOI: <https://doi.org/10.20914/2310-1202-2016-2-193-196>.
- Рудыка Е. А., Батурина Е. В., Семенихин О. А., Матющенко И. Н. Модернизация аппаратов очистки отработанного воздуха в пищевой промышленности // Вестник Воронежского государственного технического университета. 2010. Т. 6, № 8. С. 40–41. EDN: MTGMGJ.
- Салахова Э. И., Дмитриев А. В., Зинуров В. Э. Исследование структуры газового потока в сепарационном устройстве с дугообразными элементами // Вестник Технологического университета. 2022. Т. 25, № 5. С. 60–64. DOI: 10.55421/1998-7072_2022_25_5_60. EDN: MFFMIT.
- Терехова О. Н., Глебов А. А., Дуюнова Я. С. Тонкая воздушная сепарация дисперсных частиц в процессах переработки зерна // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. 2019. № 5(175). С. 140–147. EDN: KNRGUK.
- Титенок А. В., Амелин А. В., Каценко Е. Н. Производственная пыль // Вестник Брянской ГСХА. 2020. № 4(80). С. 62–72. EDN: HGAAWB.
- Тукмаков А. Л., Харьков В. В., Ахунов А. А. Пневматическая сепарация фракций полидисперсной газозвеси в низкоскоростном потоке // Инженерно-физический журнал. 2022. Т. 95, № 4. С. 918–924. EDN: QESYGG.
- Турчанинова Т. П., Гречанников М. В., Ейвин П. С. Высокоэффективная система очистки технологического воздуха для мукомольных, хлебопекарных и других пищевых предприятий // Пищевая промышленность. 2016. № 6. С. 24–26. EDN: WDG CWJ.
- Ужов В. Н. Борьба с пылью в промышленности. М. : Госхимиздат, 1962. 184 с.
- Чистяков Я. В., Махнин А. А., Невский А. В. Разделение газопылевого потока в центробежно-инерционном пылеуловителе с позиций эколого-экономического подхода // Вестник МИТХТ им. М. В. Ломоносова. 2012. Т. 7, № 3. С. 92–96. EDN: PBNCEJ.
- Чистяков Я. В., Муратова К. М., Володин Н. И. Основы сепарации мелкодисперсной пыли в центробежно-инерционном пылеуловителе // Экология и промышленность России. 2016. Т. 20, № 8. С. 20–27. DOI: <https://doi.org/10.18412/1816-0395-2016-8-20-27>. EDN: WHOGAR.
- Шваб А. В., Евсеев Н. С. Исследование процесса сепарации частиц в турбулентном закрученном потоке // Теоретические основы химической технологии. 2015. Т. 49, № 2. С. 197. DOI: <https://doi.org/10.7868/s0040357115020128>. EDN: TLOTBF.
- Штокман, Е. А., Шилов В. А., Новгородский Е. Е., Скорик Т. А. [и др.]. Вентиляция, кондиционирование и очистка воздуха на предприятиях пищевой промышленности. М. : АСВ, 2007. 632 с.
- Шувалов С. И., Новосельцева С. С., Веренин А. А., Ворошилов О. А. Математическая модель пылесистемы с шаровой барабанной мельницей для анализа схем классификации // Вестник ИГЭУ. 2017. № 5. С. 10–18. DOI: <https://doi.org/10.17588/2072-2672.2017.5.010-018>. EDN: ZOFLDV.
- Shapiro M., Galperin V. Air classification of solid particles: A review // Chemical Engineering and Processing: Process Intensification. 2005. Vol. 44, Iss. 2. P. 279–285. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.cep.2004.02.022>.
- Sun Z., Liang L., Liu C., Zhu Y. CFD simulation and performance optimization of a new horizontal turbo air classifier // Advanced Powder Technology. 2021. Vol. 32, Iss. 4. P. 977–986. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.apt.2021.01.041>.
- Zinurov V. E., Kharkov V. V., Salakhova E. I., Vakhitov M. R. [et al.]. Numerical simulation of collection efficiency in separator with inclined double-T elements // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2022b. Vol. 981. Article number: 042024. DOI: <https://doi.org/10.1088/1755-1315/981/4/042024>. (Chemical, Ecological, Oil-and-Gas Engineering and Natural Resources).
- Zinurov V., Kharkov V., Pankratov E., Dmitriev A. Numerical study of vortex flow in a classifier with coaxial tubes // International Journal of Engineering and Technology Innovation. 2022a. Vol. 12, N 4. P. 336–346. DOI: <https://doi.org/10.46604/ijeti.2022.9568>.

References

- Akulich, A. V., Lustenkov, A. V. 2004. Study of the hydrodynamics of a vortex spiral-conical dust collector for separating gas-dispersed flows of food production. *Izvestiya Vuzov. Food Technology*, 2–3(279–280), pp. 99–101. EDN: QCUVRX. (In Russ.)
- Alekseev, G. V., Sergacheva, E. S., Leu, A. G., Goncharov, M. V. 2017. Assessment of the performance of new shell-type working bodies for cleaning and grinding food raw materials. *Vestnik of MSTU*, 20(3), pp. 533–540. DOI: <https://doi.org/10.21443/1560-9278-2017-20-3-533-540>. (In Russ.)
- Amosov, P. V., Baklanov, A. A., Makarov, D. V., Masloboev, V. A. 2022. Numerical modeling of atmospheric pollution in the approaches of random selection of discrete dust areas and interval distribution of dust size. *Vestnik of MSTU*, 25(1), pp. 61–73. DOI: <https://doi.org/10.21443/1560-9278-2022-25-1-61-73>. EDN: YBIHJK. (In Russ.)
- Vedernikov, S. A., Romanyuk, E. V., Rassadnikov, D. N. 2023. Development and use of inertial dust collectors for fire and explosion hazardous industries. *Modern Problems of Civil Protection*, 4(49), pp. 129–135. EDN: OBTBJV. (In Russ.)
- Dmitriev, A. V., Zinurov, V. E., Dmitrieva, O. S., Dang, S. V. 2018. Modeling of the separation process of oil-water emulsion in a rectangular separator. *Bulletin of the Kazan State Energy University*, 3(39), pp. 65–71. EDN: ITHYXX. (In Russ.)
- Zinurov, V. E., Dmitriev, A. V., Dmitrieva, O. S. 2020. Collecting fine droplets from a gas flow in a separation device with I-beam elements. *Industrial Power Engineering*, 12, pp. 47–53. DOI: 10.34831/EP.2020.23.49.008. EDN: OJKKGX. (In Russ.)
- Kouzov, P. A. 1974. Fundamentals of analysis of the dispersed composition of industrial dusts and crushed materials. Leningrad. (In Russ.)
- Nikolaev, A. N., Nurtdinov, N. M., Kharkov, V. V. 2015. Efficiency of inertial deposition of particles on liquid drops in hollow vortex devices when cleaning emissions from food production. *Herald of Technological University*, 18(3), pp. 294–296. EDN: TJUMNB. (In Russ.)
- Rudyka, E. A., Baturina, E. V. 2016. Analysis of dust cleaning equipment used in the production of soluble powders. *Proceedings of the Voronezh State University of Engineering Technologies*, 2(68), pp. 193–196. DOI: <https://doi.org/10.20914/2310-1202-2016-2-193-196>. (In Russ.)
- Rudyka, E. A., Baturina, E. V., Semenikhin, O. A., Matyushchenko, I. N. 2010. Modernization of exhaust air purification devices in the food industry. *Bulletin of Voronezh State Technical University*, 6(8), pp. 40–41. EDN: MTGMGJ. (In Russ.)
- Salakhova, E. I., Dmitriev, A. V., Zinurov, V. E. 2022. Study of the structure of the gas flow in a separation device with arc-shaped elements. *Herald of Technological University*, 25(5), pp. 60–64. DOI: 10.55421/1998-7072_2022_25_5_60. EDN: MFFMIT. (In Russ.)
- Terekhova, O. N., Glebov, A. A., Duyunova, Ya. S. 2019. Fine air separation of dispersed particles in grain processing processes. *Bulletin of Altai State Agricultural University*, 5(175), pp. 140–147. EDN: KNRGUK. (In Russ.)
- Titenok, A. V., Amelin, A. V., Katsenko, E. N. 2020. Industrial dust. *Bulletin of the Bryansk State Agricultural Academy*, 4(80), pp. 62–72. EDN: HGAAWB. (In Russ.)
- Tukmakov, A. L., Kharkov, V. V., Akhunov, A. A. 2022. Pneumatic separation of polydisperse gas suspension fractions in a low-speed flow. *Journal of Engineering Physics and Thermophysics*, 95(4), pp. 918–924. EDN: QESYGG. (In Russ.)
- Turchaninova, T. P., Grechannikov, T. V., Eyvin, P. S. 2016. Highly efficient process air purification system for flour mills, bakeries and other food enterprises. *Food Industry*, 6, pp. 24–26. EDN: WDGWCWJ. (In Russ.)
- Uzhov, V. N. 1962. Fighting dust in industry. Moscow. (In Russ.)
- Chistyakov, Ya. V., Makhnin, A. A., Nevsky, A. V. 2012. Separation of gas and dust flow in a centrifugal inertial dust collector from the standpoint of an environmental and economic approach. *Vestnik MITHT im. M. V. Lomonosova*, 7(3), pp. 92–96. EDN: PBNCEJ. (In Russ.)
- Chistyakov, Ya. V., Muratova, K. M., Volodin, N. I. 2016. Fundamentals of separation of fine dust in a centrifugal-inertial dust collector. *Ecology and Industry of Russia*, 20(8), pp. 20–27. DOI: <https://doi.org/10.18412/1816-0395-2016-8-20-27>. EDN: WHOGAP. (In Russ.)
- Shvab, A. V., Evseev, N. S. 2015. Study of the process of particle separation in a turbulent swirling flow. *Theoretical foundations of chemical technology*, 49(2), pp. 197. DOI: <https://doi.org/10.7868/s0040357115020128>. EDN: TLOTBF. (In Russ.)
- Shtokman, E. A., Shilov, V. A., Novgorodsky, E. E., Skorik, T. A. et al. 2007. Ventilation, air conditioning and air purification at food industry enterprises. Moscow. (In Russ.)
- Shuvalov, S. I., Novoseltseva, S. S., Verenin, A. A., Voroshilov, O. A. 2017. Mathematical model of a dust system with a ball drum mill for the analysis of classification schemes. *Bulletin of the Ivanovo State Energy University*, 5, pp. 10–18. DOI: <https://doi.org/10.17588/2072-2672.2017.5.010-018>. EDN: ZOFLDV. (In Russ.)

- Shapiro, M., Galperin, V. 2005. Air classification of solid particles: A review. *Chemical Engineering and Processing: Process Intensification*, 44(2), pp. 279–285. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.cep.2004.02.022>.
- Sun, Z., Liang, L., Liu, C., Zhu, Y. 2021. CFD simulation and performance optimization of a new horizontal turbo air classifier. *Advanced Powder Technology*, 32(4), pp. 977–986. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.apt.2021.01.041>.
- Zinurov, V. E., Kharkov, V. V., Salakhova, E. I., Vakhitov, M. R. et al. 2022b. Numerical simulation of collection efficiency in separator with inclined double-T elements. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. Vol. 981. Article number: 042024. DOI: <https://doi.org/10.1088/1755-1315/981/4/042024>. (Chemical, Ecological, Oil-and-Gas Engineering and Natural Resources).
- Zinurov, V., Kharkov, V., Pankratov, E., Dmitriev, A. 2022a. Numerical study of vortex flow in a classifier with coaxial tubes. *International Journal of Engineering and Technology Innovation*, 12(4), pp. 336–346. DOI: <https://doi.org/10.46604/ijeti.2022.9568>.

Сведения об авторах

Зинуров Вадим Эдуардович – ул. Красносельская, 51, г. Казань, Россия, 420066;
Казанский государственный энергетический университет, канд. техн. наук;
e-mail: vadd_93@mail.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1380-4433>

Vadim E. Zinurov – 51 Krasnoselskaya Str., Kazan, Russia, 420066;
Kazan State Power Engineering University, Cand. Sci. (Engineering);
e-mail: vadd_93@mail.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1380-4433>

Абдуллина Азалия Айратовна – ул. Красносельская, 51, г. Казань, Россия, 420066;
Казанский государственный энергетический университет, студент;
e-mail: azalkaabdullina69826@gmail.com, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4047-4919>

Azalia A. Abdullina – 51 Krasnoselskaya Str., Kazan, Russia, 420066;
Kazan State Power Engineering University, Student;
e-mail: azalkaabdullina69826@gmail.com, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4047-4919>

Харьков Виталий Викторович – ул. Карла Маркса, 68, г. Казань, Россия, 420015;
Казанский национальный исследовательский технологический университет, канд. техн. наук, доцент;
e-mail: v.v.kharkov@gmail.com, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8219-7323>

Vitaly V. Kharkov – 68 Karl Marx Str., Kazan, Russia, 420015; Kazan National Research Technological University, Cand. Sci. (Engineering), Associate Professor;
e-mail: v.v.kharkov@gmail.com, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8219-7323>

Мадьшев Ильнур Наилевич – ул. Карла Маркса, 68, г. Казань, Россия, 420015;
Казанский национальный исследовательский технологический университет, канд. техн. наук;
e-mail: ilnur_91@mail.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9513-894X>

Ilnur N. Madyshev – 68 Karl Marx Str., Kazan, Russia, 420015;
Kazan National Research Technological University, Cand. Sci. (Engineering);
e-mail: ilnur_91@mail.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9513-894X>

УДК 681.518

Модернизация малогабаритной сушильной установки для поиска оптимальных режимов с применением тепловизионного контроля

С. А. Лукин*, А. В. Кайченев, В. В. Ерещенко, И. Ю. Селяков

*Мурманский арктический университет, г. Мурманск, Россия;
e-mail: lukinsa2@mstu.edu.ru, ORCID: <https://orcid.org/0009-0003-7121-6087>

Информация о статье Реферат

Поступила
в редакцию
29.01.2024;

получена
после доработки
27.02.2024;

принята
к публикации
11.03.2024

Ключевые слова:

холодная сушка,
система автоматического
управления,
программно-аппаратный
комплекс,
тепловизионный
контроль,
энергоэффективность

Климатические особенности Мурманской области (низкая среднегодовая температура; незначительное число солнечных дней) не способствуют эффективному использованию естественных методов сушки гидробионтов и определяют применение способов искусственного обезвоживания с помощью соответствующего оборудования. Возможности судовых комплексов переработки рыбы ограничены; для снабжения населения рыбной продукцией необходимы высокопроизводительные береговые рыбообрабатывающие предприятия. Разработка и тестирование новых режимов сушки проведены с использованием малогабаритной сушильной установки УПОР-М2. В ходе исследования разработан проект модернизации сушильной установки, подобрано оборудование (тепловизионная система; модули управления заслонками и вентиляторами), осуществлена модернизация системы и выполнен ряд экспериментов по определению эффективности проведенных работ. Модернизация сушильной установки позволила повысить точность получаемых данных на 25 % (температура), 20 % (относительная влажность), 18 % (масса), осуществить дистанционное управление процессами и обеспечить надежную работу системы сушки. Дальнейшие исследования различных режимов сушки гидробионтов должны включать обновление системы регулирования подачи воздуха и повышение качества связи между элементами установки.

Для цитирования

Лукин С. А. и др. Модернизация малогабаритной сушильной установки для поиска оптимальных режимов с применением тепловизионного контроля. Вестник МГТУ. 2024. Т. 27, № 3. С. 447–457. DOI: <https://doi.org/10.21443/1560-9278-2024-27-3-447-457>.

Modernization of small-sized drying plant for searching optimal modes with thermovision control

Sergei A. Lukin*, Alexandr V. Kaychenov, Victor V. Ereschenko, Ilya Yu. Selyakov

*Murmansk Arctic University, Murmansk, Russia;
e-mail: lukinsa2@mstu.edu.ru, ORCID: <https://orcid.org/0009-0003-7121-6087>

Article info

Received
29.01.2024;

received
in revised form
27.02.2024;

accepted
11.03.2024

Key words:

cold drying,
automatic control system,
computer appliance,
thermovisional control,
energy efficiency

Abstract

The climatic features of the Murmansk region (low average annual temperature; insignificant number of sunny days) do not contribute to the effective use of natural methods of drying aquatic organisms and determine the use of artificial dehydration methods using appropriate equipment. The capabilities of ship fish processing complexes are limited; highly productive coastal fish processing plants are required to supply the population with fish products. The development and testing of new drying modes has been carried out using a small-sized drying unit UPOR-M2. In the course of the study, a drying unit modernization project has been developed, equipment has been selected (thermal imaging system; damper and fan control modules), the system has been modernized and a number of experiments has been conducted to determine the effectiveness of the work performed. The modernization of the drying unit has made it possible to increase the accuracy of the data obtained by 25 % (temperature), 20 % (relative humidity), 18 % (weight), to implement remote control of the processes and to ensure reliable operation of the drying system. Further research of different drying modes for aquatic organisms should include upgrading the air supply control system and improving communication equipment.

For citation

Lukin, S. A. et al. 2024. Modernization of small-sized drying plant for searching optimal modes with thermovision control. *Vestnik of MSTU*, 27(3), pp. 447–457. (In Russ.) DOI: <https://doi.org/10.21443/1560-9278-2024-27-3-447-457>.

Введение

Мурманский порт является крупным логистическим узлом, задействованным во внешнем товарообмене, а также логистической базой для многих российских арктических проектов. По данным системы государственного портового контроля¹, около половины судозаходов в порт Мурманск приходится на рыболовные суда, что свидетельствует о важности рыбной отрасли для Мурманской области. Возможности судовых комплексов переработки рыбы ограничены; для снабжения населения рыбной продукцией необходимы высокопроизводительные береговые рыбообработывающие предприятия (Васильев и др., 2023; Алтухов, 2019).

В Мурманском арктическом университете (Ершов и др., 2004, 2006, 2011; Воинов и др., 2012; Воинов, 2013; Ершов, 2007; Гроховский и др., 2012; Селяков и др., 2013) с 2010 г. проводятся исследования по повышению эффективности переработки рыбного сырья, снижению стоимости рыбной продукции. Одним из проектов является создание и модернизация малогабаритной сушильной установки УПОР-М. Аналогичные исследования проведены в других регионах РФ (Яшонков, 2018; Яшонков и др., 2021; Петров, 2015; Семенов и др., 2021).

Целью настоящей работы является проведение ряда экспериментов по сушке рыбы в различных условиях для определения оптимальных режимов работы модернизированной сушильной установки УПОР-М2.

Материалы и методы

Климатические особенности Мурманской области (низкая среднегодовая температура; незначительное число солнечных дней), в отличие от более теплых регионов (Desnanjaya et al., 2023; Egun et al., 2023; Al-Mahrqi et al., 2021), не способствуют эффективному использованию естественных методов сушки и определяют применение способов искусственного обезвоживания с помощью соответствующего оборудования. Разработка и тестирование новых режимов на основе работы полногабаритных промышленных установок является ресурсоемким процессом и по расходу электроэнергии, и по затрачиваемому на эксперимент сырью.

В Мурманском арктическом университете в 2014 г. разработана и введена в эксплуатацию малогабаритная сушильная установка УПОР-М (Селяков, 2015), с помощью которой осуществлялся поиск оптимальных режимов холодной сушки и процесса вяления. Внешний вид установки и разрез одной из сушильных камер представлен на рис. 1.



Рис. 1. Внешний вид и разрез УПОР-М (Селяков, 2015): 1 – пространство для сушки; 2 – опорная рама; 3 – нагреватель; 4 – рециркуляционный вентилятор; 5 – рециркуляционный воздуховод; 6 – вытяжной вентилятор; 7, 8 – датчики влажности и температуры; 9 – датчик веса сырья; 10 – контактный датчик температуры; 11 – счетчик электроэнергии

Fig. 1. UPOR-M appearance and cross-section (Selyakov, 2015): 1 – chamber; 2 – pillars; 3 – electro heater; 4 – recycle fan; 5 – recycle duct; 6 – extractor fan; 7, 8 – temperature and humidity sensors; 9 – weight sensor; 10 – temperature sensor; 11 – electricity meter

Необходимость в исследовании новых режимов и способов реализации сушки рыбы (Ершов, 2017, 2018), а также ряд недостатков в исходной установке обусловили проведение ряда работ по усовершенствованию УПОР-М (Ерещенко и др., 2014, 2015, 2016; Ионов и др., 2017; Кайченев и др., 2023; Ионов и др., 2018).

¹ См.: Free AIS Ship Tracker // VesselFinder. URL : vesselfinder.com ; Судозаходы в порты РФ // Информационная система государственного портового контроля. Модуль "Регистрация заходов и отходов судов в морских портах Российской Федерации". URL: <https://portcall.marinet.ru/index.php>.

Основные изменения затрагивали систему управления и программное обеспечение. Структурная схема исходной установки УПОР-М представлена на рис. 2.

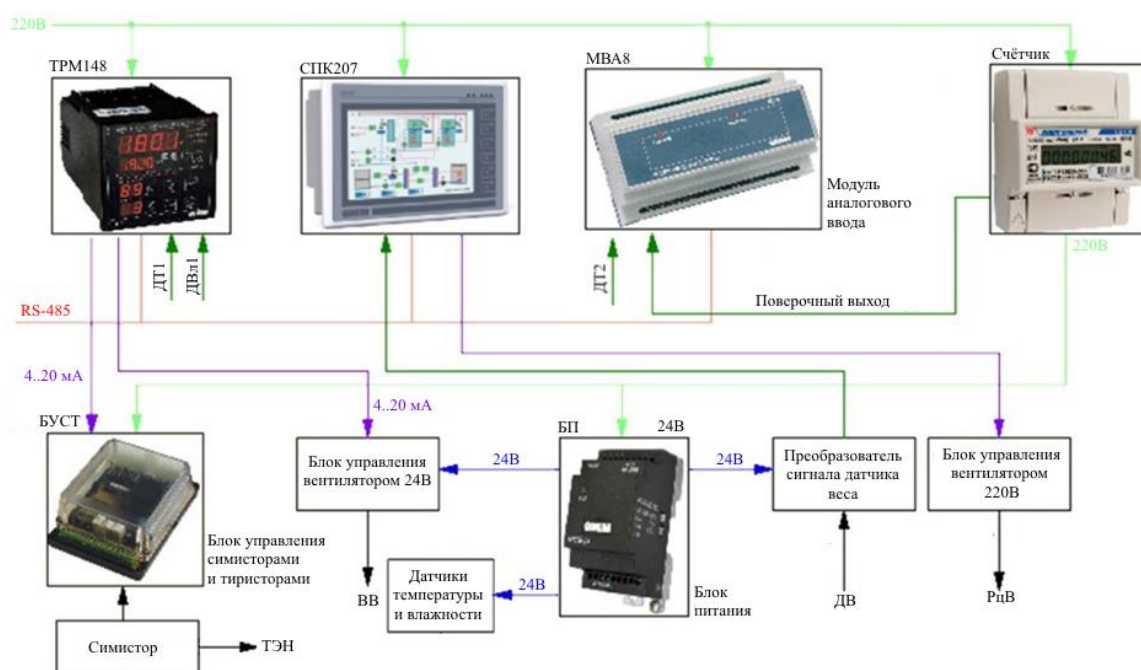


Рис. 2. Структурная схема системы управления УПОР-М
Fig. 2. Structure of UPOR-M control system

Настройка нового режима работы является длительным и сложным процессом, так как использующийся пропорционально-интегрально-дифференцирующий (ПИД) регулятор ОВЕН-ТРМ-48 обладает ограниченным функционалом по учету дополнительных факторов и способов настройки параметров. Управляющий системой программируемый логический контроллер (ПЛК) ОВЕН-СПК-207 снят с производства и не поддерживается изготовителем, что ограничивает возможности по внедрению новых программных функций при отсутствии интеграции новых библиотек в старую версию среды разработки CoDeSys.

Управление установкой и контроль параметров процесса без непосредственного присутствия обслуживающего персонала возле установки УПОР-М не возможны, что является затрудняющим фактором при проведении длительных процессов (сутки и более).

Следует учитывать старение компонентов исходной системы; например, датчики РЭЛСИБ-ДВТ-03 уже не обеспечивают приемлемую точность измерений (отклонение показаний датчика от реальных значений достигает 26 %), а наличие у данных устройств по одному аналоговому выводу на каждый измерительный канал (температура и относительная влажность) усложняет систему, требуя дополнительных модулей аналогового ввода.

В ходе модернизации исходной установки произведено разделение структурно обновленной системы на четыре основные части:

- щит управления, включающий комплектующие для управления основными узлами УПОР-М2, человеко-машинный интерфейс и разъемы для подключения внешнего ПК и Wi-Fi-роутера;
- силовой щит, содержащий симисторы и блоки управления ими, промежуточные реле и контакторы;
- щит управления камерой подготовки;
- щит сбора данных с камер обезвоживания, включающий модуль ввода сигналов тензодатчиков; блок питания; выводные клеммы для передачи в щит управления показаний датчиков температуры и влажности и модулей тепловизионного контроля.

Обновленная структурная схема системы управления УПОР-М2 представлена на рис. 3.

Модернизированная установка может работать как в виде отдельной системы, так и под управлением настроенного внешнего компьютера со специализированным программным обеспечением ОС Manjaro Linux, исполняющим роль SCADA-системы. Для связи с компьютером и системой внутреннего тепловизионного контроля предусмотрен Wi-Fi роутер. В качестве основного устройства управления системой используется сенсорный панельный контроллер ОВЕН-СПК-107, имеющий связь с остальной системой с помощью нескольких интерфейсов RS-485, а с внешним компьютером – с помощью интерфейса Ethernet (протокол MQTT). Также СПК-107 используется для сохранения данных об эксперименте на внешний Flash-носитель. Преимуществом подобного решения является возможность контроля и управления процессом различными способами: с автоматизированного рабочего места оператора; с внешнего компьютера; через web-визуализацию,

доступ к которой обеспечен с помощью сети Интернет. Сенсорный экран позволяет получить данные о процессе и произвести изменение параметров без подключения к системе монитора. Для дополнительного извещения о выходе контролируемых параметров за допустимые пределы служит встроенный звуковой пьезоизлучатель.

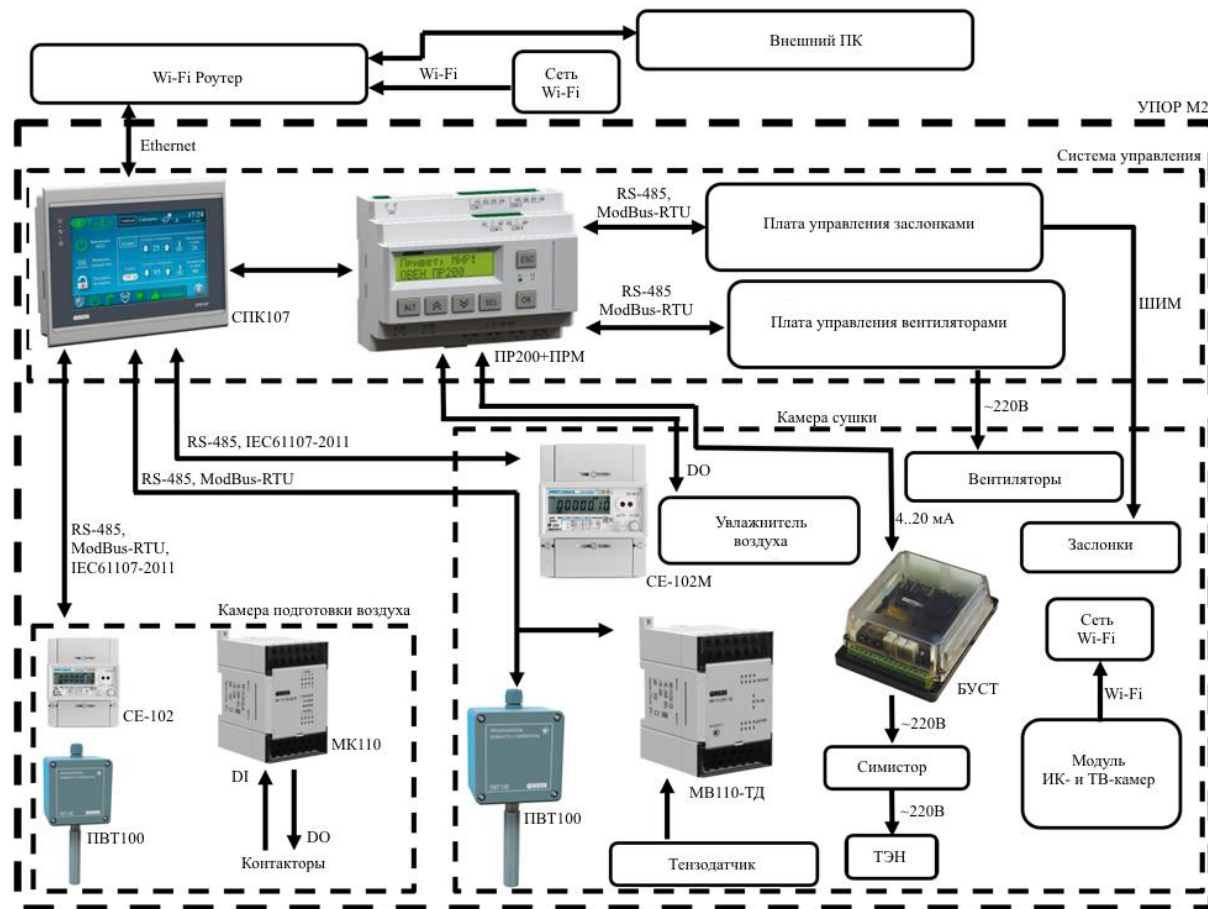


Рис. 3. Обновленная структурная схема управления УПОР-М2
Fig. 3. Structure of updated UPOR-M2 control system

Одно из основных отличий модернизированной установки – включение в систему камеры подготовки сушильного агента, предназначенной для предварительного подогрева и осушения внешнего воздуха. Основными элементами камеры подготовки являются осушитель, нагреватель воздуха камеры, система принудительной разморозки осушителя, датчик температуры и влажности ОВЕН-ПВТ-100, счетчик электроэнергии "Энергомера"-СЕ-102М. Для управления силовыми элементами камеры подготовки предназначен модуль дискретного ввода-вывода ОВЕН-МК-110 с набором модульных контакторов. Связь с датчиком, счетчиком и модулем ввода-вывода осуществляется с использованием интерфейса RS-485. Камера подготовки имеет систему гибких воздухопроводов, что позволяет подключать к ней различные устройства осушения воздуха, в том числе холодильные камеры для проведения процессов обезвоживания при отрицательных температурах.

В обновленной системе предусмотрено наличие заслонок на воздухопроводах, с помощью которых осуществляется регулировка подачи воздуха к сушильным камерам. Для управления сервоприводами заслонок при применении ШИМ-сигнала предназначено специально разработанное устройство на базе микроконтроллера и преобразователей сигнала.

В систему добавлено устройство для корректировки частоты вращения приточных и вытяжных вентиляторов сушильных камер, что позволяет изменять скорость потока сушильного агента и соотношение приточного и рециркуляционного воздуха, поступающего в камеру.

Для управления устройствами, регулирующими положение заслонок и частоту вращения вентиляторов (с использованием интерфейса RS-485, протокол ModBus-RTU), контакторы и реле нагревателей, увлажнителей, вентиляторов и освещения камер (релейные выходы), а также блоки управления симисторами нагревателей (аналоговый вывод в диапазоне 4–20 мА), используется программируемое реле ОВЕН-ПР-200 с модулями расширения ПРМ-1 и ПРМ-3; предусмотрена функция введения программируемого реле в режим ручного управления выводами для отладки работы системы.

Измерение веса объекта в обновленной системе производится с использованием тензодатчика, сигнал с которого поступает на модуль аналогового ввода ОВЕН-МВ110-ТД. Модуль связан с СПК-107 с помощью интерфейса RS-485 (протокол ModBus-RTU). По результатам отладочных экспериментов в программное обеспечение установки добавлена функция корректировки показаний веса в зависимости от температуры в камере.

Для изменения влажности воздуха в сушильных камерах разработаны увлажнительные модули, состоящие из емкости с водой, испарителя влаги, защитного сигнализатора уровня, нагнетающего вентилятора, обратного клапана, системы слива и набора воды и системы воздухопроводов от емкости до соответствующей камеры. Интенсивность увлажнения воздуха в сушильной камере регулируется посредством изменения периода работы испарителя.

Важным изменением установки по отношению к предыдущим ее версиям является применение системы тепловизионного контроля температуры поверхности объекта сушки. Основными элементами системы являются инфракрасная камера Melexis-MLX90640 и микроконтроллерный модуль ESP32-CAM с телевизионной (ТВ) камерой OV2640. Данные компоненты объединены в общий блок в модульном корпусе с антенной под монтажную рейку ТН-35. Связь с внешней системой осуществляется с помощью технологии Wi-Fi, получение и обработка изображений в настоящий момент возможны только при использовании УПОР-М2 совместно с управляющим компьютером. Применение данного способа контроля температуры позволяет получать больше информации о температурном поле вокруг объекта обезвоживания, чем при использовании одного датчика температуры (или температуры и влажности), установленного на некотором расстоянии от обрабатываемого сырья. При этом обеспечивается визуальное наблюдение за сырьем без вскрытия секции обезвоживания. Данная возможность обеспечивается благодаря внедренной системе светодиодного освещения. Пример получаемого изображения представлен на рис. 4.

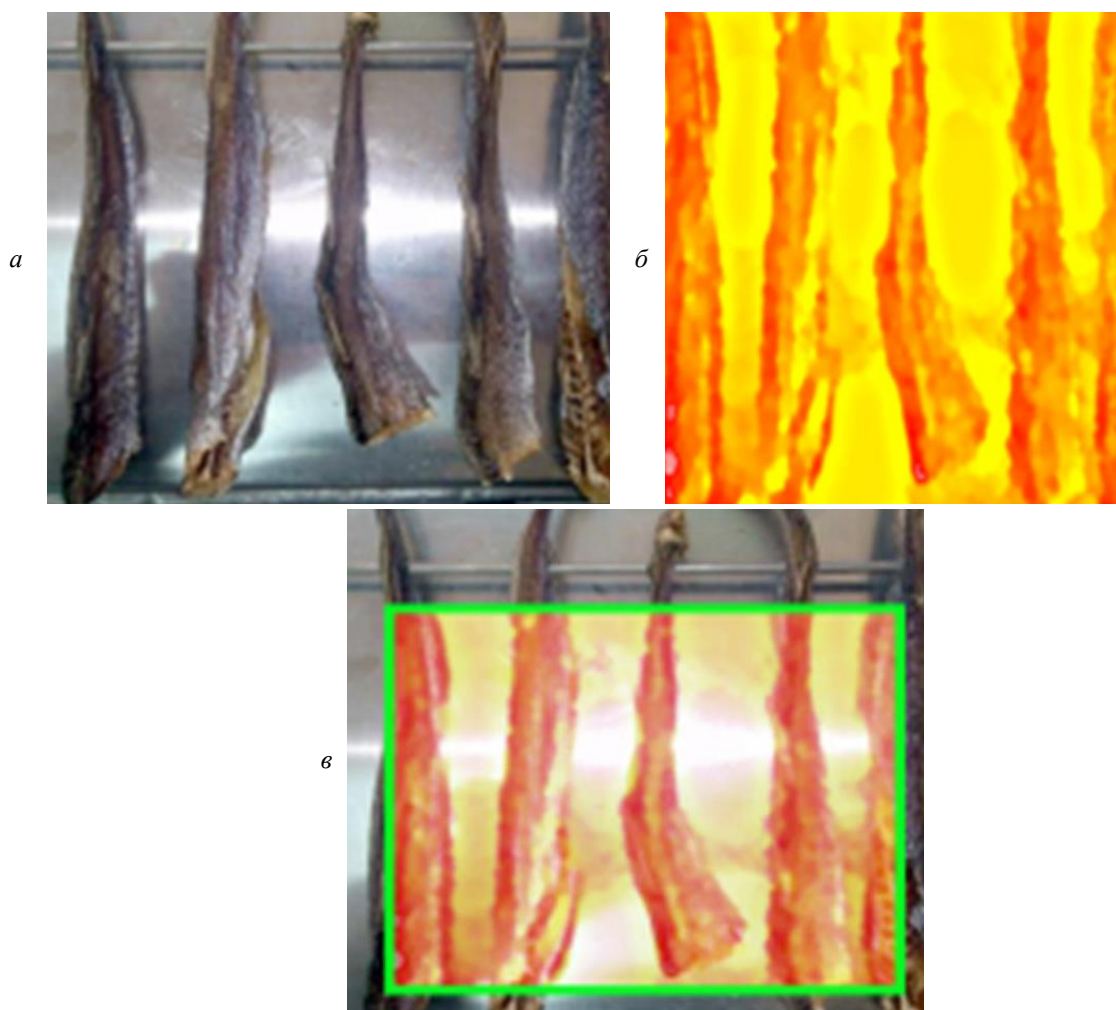


Рис. 4. Использование модуля тепловизионного контроля в процессе тестовой сушки рыбного сырья:
а – изображение с экрана ТВ-камеры; *б* – изображение с экрана тепловизионной камеры;
в – наложение изображений с экранов ТВ- и тепловизионной камер

Fig. 4. Image from thermovision module during test fish drying: *a* – image from video camera;
б – image from thermal camera; *в* – video and thermal camera images superposition

Установка УПОР-М2 предназначена для определения энергоэффективности различных режимов сушки, каждый из основных потребителей энергии (система управления, камера подготовки, четыре сушильных камеры, внешний компьютер с роутером) оснащен счетчиком электроэнергии "Электромера"-СЕ-102М R-148. Счетчики передают показания в СПК-107 с помощью интерфейса RS-485 (протокол IEC61107-2011), что позволяет оценить энергопотребление в ходе процесса, реализовать функции защиты системы при низком/высоком напряжении питания, а также при выходе за допустимые параметры значений силы тока в цепях исполнительных устройств.

Результаты и обсуждение

После модернизации УПОР-М2 проведены пусконаладочные работы, включающие эксперименты в одной секции обезвоживания, что позволило получить данные об энергоэффективности исследуемых методов сушки рыбы и предельных значениях параметров обновленной установки.

Графики изменения регулируемых и контролируемых величин в процессе проведения одного из экспериментов представлены на рис. 5–7, где использованы следующие обозначения:

T – температура, °С; $T_{уст}$ – температура уставки; $T_{тек}$ – температура в сушильной камере в процессе эксперимента; $T_{внешн}$ – температура во внешней среде; $T_{суш. аг}$ – температура в камере подготовки (рис. 5);

RH – относительная влажность, %; $RH_{уст}$ – влажность уставки; $RH_{тек}$ – влажность в сушильной камере в процессе эксперимента; $RH_{внешн}$ – влажность во внешней среде; $RH_{суш. аг}$ – влажность в камере подготовки (рис. 6);

M – масса, г; $M_{нач}$ – масса в первый момент эксперимента; $M_{тек}$ – масса в сушильной камере в процессе эксперимента (рис. 7).

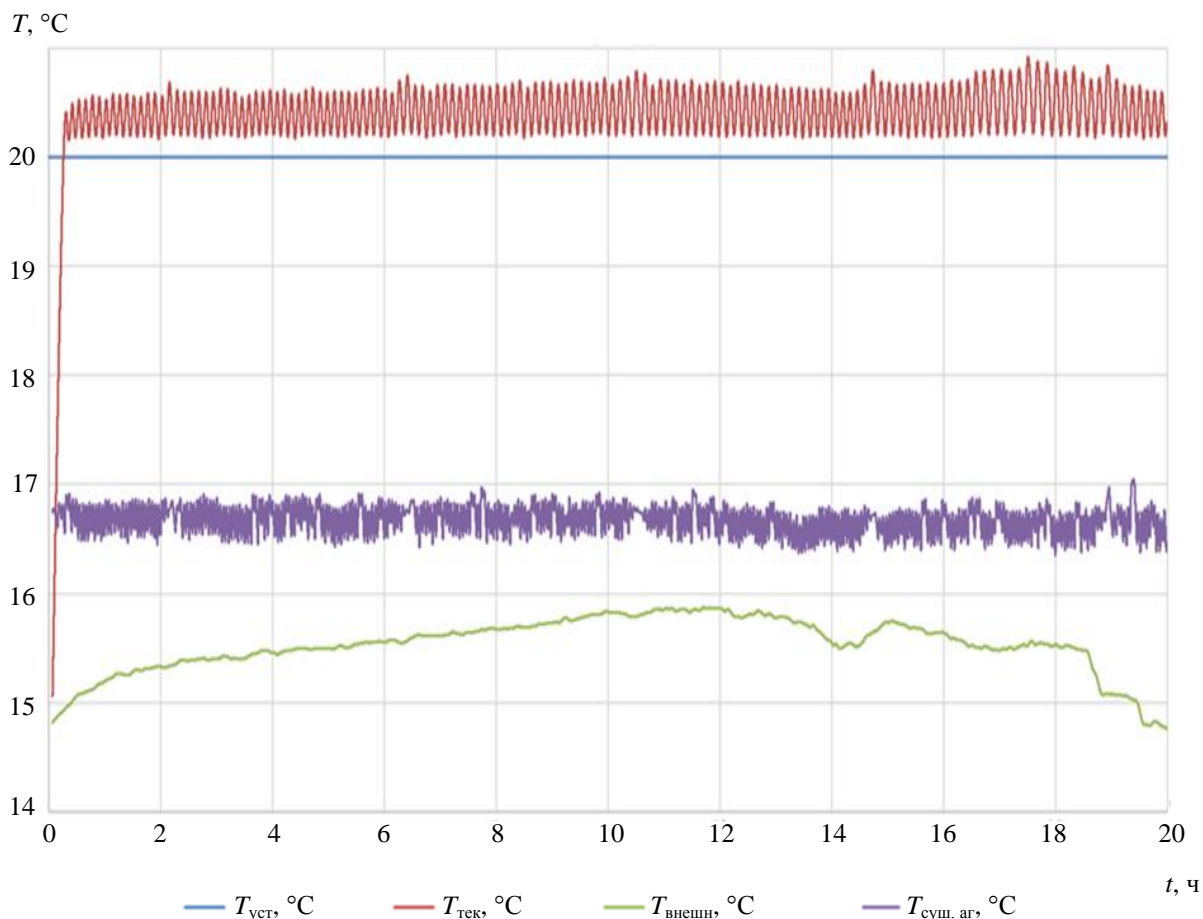


Рис. 5. Графики изменения температуры в сушильной камере в процессе эксперимента
Fig. 5. Temperature change graph during the experiment

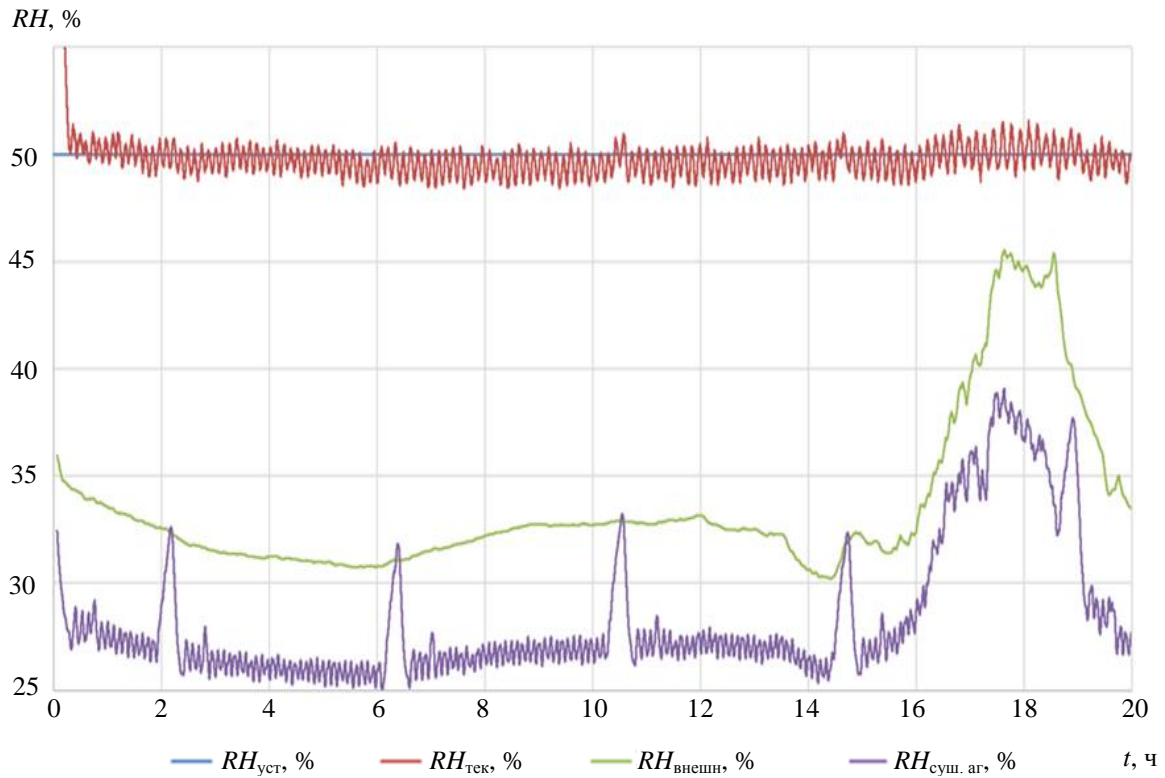


Рис. 6. Графики изменения относительной влажности в сушильной камере в процессе эксперимента
Fig. 6. Relative humidity change graph during the experiment

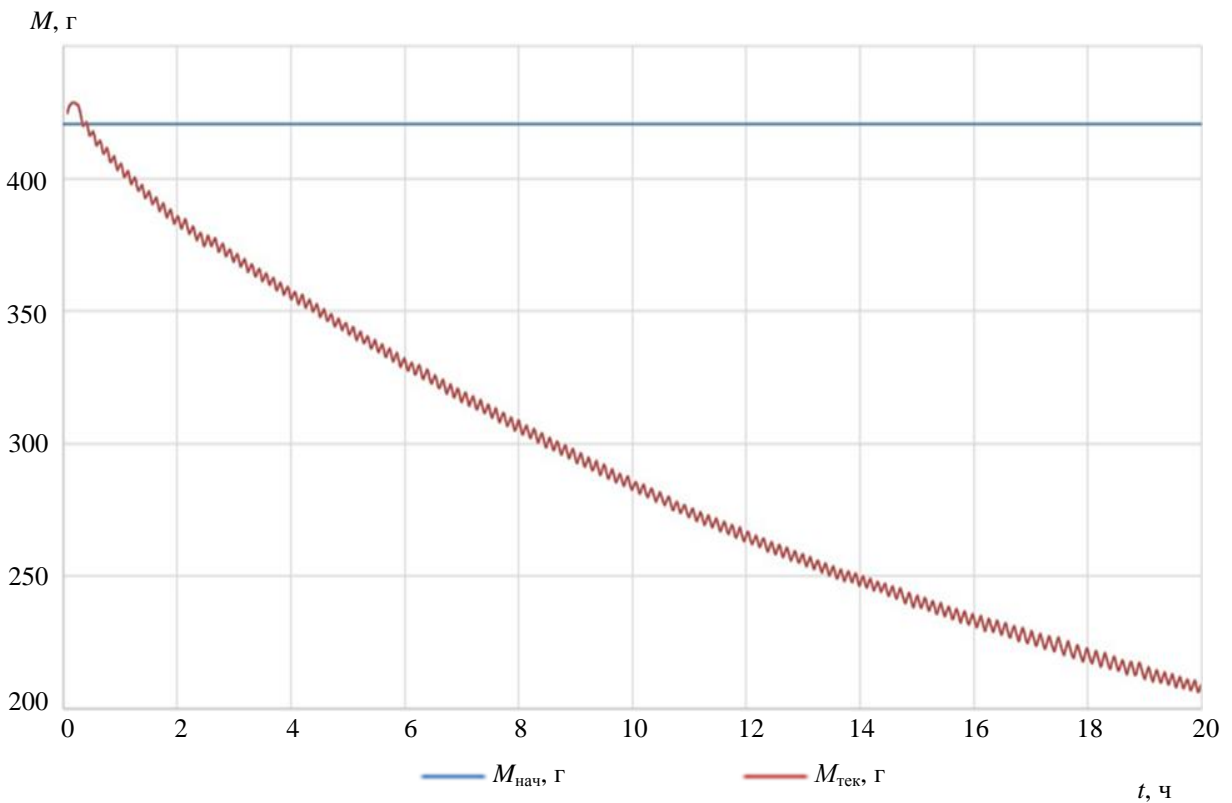


Рис. 7. Графики изменения массы рыбы в процессе эксперимента
Fig. 7. Mass change graph during the experiment

Из приведенных графиков видно, что система автоматически осуществляет считывание и архивацию значений величин в ходе процесса один раз в секунду, что отражается в большом количестве колебаний при активном нагреве/увлажнении воздуха в камерах подготовки и сушки. Анализ графиков позволяет сделать выводы о достаточной стабильности поддержания температуры воздуха в камере подготовки, что обеспечивает одинаковые условия в случае проведения одновременных сравнительных экспериментов в нескольких камерах и снижает зависимость процесса обезвоживания от значений параметров внешнего воздуха.

Результаты эксперимента показывают, что система получает данные и регулирует температуру и влажность в соответствии с заданным значением с отклонением в пределах 1 % (температура), 6 % (относительная влажность); 10 % (масса).

Проведенные эксперименты позволили выявить недостатки в работе модернизированной установки УПОР-М2. Так, в системе отсутствуют датчики потока воздуха для определения воздействия приточного и вытяжного сушильного агента на сырье, а также реализации обратной связи для регулирования скорости потока воздуха в камерах. Одним из направлений дальнейших работ может стать осуществление беспроводной связи между большим числом элементов системы (применение технологии Wi-Fi или MQTT). Для снижения энергетических и временных затрат при настройке системы управления на новый режим обработки рыбного сырья планируется внедрение элементов интеллектуального управления в форме регуляторов на основе нечеткой логики и искусственных нейронных сетей.

Заключение

Недостатки исходной сушильной установки УПОР-М заключаются в низкой точности измерений, сложной настройке нового режима работы, недостаточном уровне предоставления информации оператору. В ходе исследования разработан проект модернизации сушильной установки, подобрано оборудование (тепловизионная система; модули управления заслонками и вентиляторами), осуществлена модернизация системы и выполнен ряд экспериментов по определению эффективности проведенных работ.

Модернизация сушильной установки позволила повысить точность получаемых данных на 25 % (температура), 20 % (относительная влажность), 18 % (масса), осуществить дистанционное управление процессами и обеспечить надежную работу системы сушки. Дальнейшие исследования различных режимов сушки гидробионтов должны включать обновление системы регулирования подачи воздуха и повышение качества связи между элементами установки.

Благодарности

Оборудование и работы по модернизации УПОР-М выполнены за счет гранта Российского научного фонда № 22-26-20116 и гранта Министерства образования и науки Мурманской области по направлению "Проведение фундаментальных научных исследований и поисковых научных исследований малыми отдельными научными группами" на основании соглашения № 103 от 13.04.2022 г. между Министерством образования и науки Мурманской области и Мурманским государственным техническим университетом.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Библиографический список

- Алтухов А. И. Парадигма продовольственной безопасности России. М. : Фонд "Кадровый резерв", 2019. 685 с. EDN: JYUYLN.
- Васильев А. М., Лисунова Е. А. Возможно ли изменить ценообразование на арктическую рыбу? // Арктика и Север. 2023. № 52. С. 32–43. DOI: <https://doi.org/10.37482/issn2221-2698.2023.52.32>. EDN: YMNGCZ.
- Вотинов М. В. Телематическое оснащение технологических процессов термической обработки гидробионтов // Рыбное хозяйство. 2013. № 4. С. 97–100. EDN: RFWHSZ.
- Вотинов М. В., Ершов М. А., Маслов А. А. Исследование энергоэффективности процессов сушки гидробионтов в пищевой рыбной промышленности // Рыбное хозяйство. 2012. № 4. С. 115–117. EDN: PGFZDF.
- Гроховский В. А., Морозов Н. Н. Использование электрофизических методов в технологии холодного бездымного копчения гидробионтов // Вестник МГТУ. 2012. Т. 15, № 1. С. 26–34. EDN: RGQU DR.
- Ерещенко В. В., Жук А. А. Модернизация малогабаритной установки для поиска оптимальных технологических режимов сушки сырья. Разработка плат управления исполнительными механизмами и сбора данных с интерфейсом RS-232 и поддержкой протокола MODBUS RTU // Наука производству : материалы междунар. науч.-практ. конф., Мурманск, 24–27 марта 2015 г. Мурманск : Изд-во МГТУ, 2015. С. 21–26. EDN: VFYHFR.

- Ерещенко В. В., Селяков И. Ю., Маслов А. А., Кайченев А. В. [и др.]. Модернизация малогабаритной установки для поиска оптимальных технологических режимов сушки сырья // *Техника и технологии: пути инновационного развития : сборник науч. тр. 4-й Междунар. науч.-практ. конф., Курск, 30 июня 2014 г. Курск : Университетская книга, 2014. С. 110–114. EDN: SZJXJF.*
- Ерещенко В. В., Столянов А. В., Ершов М. А., Жук А. А. Разработка климатической камеры для малогабаритной сушильной установки УПОР-М // *Наука – производству : материалы междунар. науч.-практ. конф., Мурманск, 22–25 марта 2016 г. Мурманск : Изд-во МГТУ, 2016. С. 43–47. EDN: WKRZOB.*
- Ершов А. М., Ершов М. А., Мазаников А. А., Николаенко О. А. Определение коэффициентов диффузии влаги в рыбе при обезвоживании // *Вестник МГТУ. 2004. Т. 7, № 1. С. 31–34. EDN: ПУСЦП.*
- Ершов М. А. Изучение релаксационных процессов в обезвоженном поверхностном слое рыбы // *Современные эколого-биологические и химические исследования, техника и технология производств : материалы междунар. науч.-практ. конф., Мурманск, 7 апреля 2017 г. : в 2 ч. Ч. 2. Мурманск : Изд-во МГТУ, 2017. С. 59–63. EDN: JZBTTT.*
- Ершов М. А. Научное обоснование технологии обезвоживания рыбы с использованием релаксационных процессов // *Рыбное хозяйство. 2018. № 6. С. 98–100. EDN: POJJCZ.*
- Ершов М. А. Совершенствование методов расчета обезвоживания в процессах холодного копчения и вяления рыбы : автореф. дис. ... канд. техн. наук. Мурманск, 2007. 23 с.
- Ершов М. А., Ершов А. М., Николаенко О. А. Расчетный метод определения влажности на поверхности рыбы в процессах обезвоживания // *Вестник МГТУ. 2006. Т. 9, № 4. С. 707–709. EDN: ICJWFD.*
- Ершов, М. А., Николаенко О. А. Методика расчета процессов обезвоживания при холодном копчении и вялении рыбы // *Вестник Воронежской государственной технологической академии. 2011. № 1(47). С. 27–29. EDN: RTVRHN.*
- Ионов Н. А., Ерещенко В. В. Разработка системы подготовки воздуха для установки поиска режимов сушки пищевого сырья // *Современные эколого-биологические и химические исследования, техника и технология производств : материалы междунар. науч.-практ. конф., Мурманск, 7 апреля 2017 г. : в 2 ч. Ч. 2. Мурманск : Изд-во МГТУ, 2017. С. 133–137. EDN: YOLGFK.*
- Ионов Н. А., Ерещенко В. В., Маслов А. А., Ершов М. А. Разработка системы кондиционирования воздуха в составе установки по поиску режимов обезвоживания рыбы // *Современные эколого-биологические и химические исследования, техника и технология производств : материалы междунар. науч.-практ. конф., Мурманск, 25 апреля 2018 г. Мурманск : Изд-во МГТУ, 2018. С. 238–243. EDN: YOANRJ.*
- Кайченев А. В., Ерещенко В. В., Яценко В. В., Селяков И. Ю. Многоконтурная система управления процессом конвективного обезвоживания рыбного сырья // *Вестник Тамбовского государственного технического университета. 2023. № 2. С. 254–262. DOI: <https://doi.org/10.17277/vestnik.2023.02.pp.254-262>. EDN: DDOEDI.*
- Петров Д. С. Способ управления процессом подсушки мелкой морской рыбы перед холодным копчением // *Вестник Новгородского государственного университета. 2015. № 3–1(86). С. 26–30. EDN TZQSYR.*
- Селяков И. Ю. Повышение энергоэффективности процессов конвективного обезвоживания при производстве копченой и вяленой рыбы : дис. ... канд. техн. наук. Мурманск, 2015. 209 с. EDN: SHBDOF.
- Селяков И. Ю., Маслов А. А., Ершов М. А., Кайченев А. В. [и др.]. Оценка энергоэффективности введения режимов релаксации на универсальной копильно-сушильной установке // *Рыбное хозяйство. 2013. № 6. С. 111–115. EDN: RWGHOD.*
- Семенов А. Е., Андреев А. И., Цыплаков А. А. Анализ системы кондиционирования воздуха при вялении рыбы // *Научные исследования и инновации : сб. избранных ст. II Междунар. науч.-практ. конф., Саратов, 14 января 2021 г. Саратов : Цифровая наука, 2021. С. 31–39. EDN: KZBFAP.*
- Яшонков А. А. Теоретическое и экспериментальное исследование кинетики процесса сушки при производстве сушеной рыбной продукции // *Вестник Камчатского государственного технического университета. 2018. № 44. С. 63–69. DOI: <https://doi.org/10.17217/2079-0333-2018-44-63-69>.*
- Яшонков А. А., Устинова М. Э., Косачев В. С. Анизотропная модель кинетики теплообмена в процессе сушки кубика рыбного филе // *Вестник Керченского государственного морского технологического университета. 2021. № 4. С. 274–286. DOI: https://doi.org/10.47404/2619-0605_2021_4_274. EDN: FIJKIM.*
- Al-Mahruqi N. S., Al-Ismaili A. M. A review on solar drying of fish // *Journal of Agricultural and Marine Sciences. 2021. Vol. 6, Iss. 2. P. 1–9. DOI: <https://doi.org/10.53541/jams.vol26iss2pp1-9>.*
- Desnanjaya I G. M. N., Wiguna I K. A. G., Nugraha I M. A. Fish drying machine with PV system for fisherman to support blue economy // *Bulletin of Electrical Engineering and Informatics. 2023. Vol. 12, N 3. P. 1352–1358. DOI: <https://doi.org/10.11591/eei.v12i3.4690>.*
- Egun N. K., Imadonmwiniyi O. O., Iyoha V. E., Oboh I. P. Fish processing and nutrient availability: A study on the effect of drying methods on the nutritional content of selected fish species // *Food and Environment Safety Journal. 2023. Vol. 22, N 1. P. 50–58. DOI: <https://doi.org/10.4316/fens.2023.005>.*

References

- Altukhov, A. 2019. Paradigm of food security of Russia. Moscow. EDN: JYYYYLH. (In Russ.)
- Vasilyev, A. M., Lisunova, E. A. 2023. Is it possible to change arctic fish pricing? *Arctic and North*, 52, pp. 32–43. DOI: <https://doi.org/10.37482/issn2221-2698.2023.52.32>. EDN: YMNGCZ. (In Russ.)
- Votinov, M. 2013. Telematics equipment of technological processes of hydrobionts heat treatment. *Fisheries*, 4, pp. 97–100. EDN: RFWHSZ. (In Russ.)
- Votinov, M., Ershov, M., Maslov, A. 2012. Investigation of energetic efficiency of processes of hydrobionts drying in fish processing industry. *Fisheries*, 4, pp. 115–117. EDN: PGFZDF. (In Russ.)
- Grokhovskiy, V., Morozov, N. 2012. The use of electrophysical methods in the technology of cold smokeless smoking of hydrobionts. *Vestnik of MSTU*, 15(1), pp. 26–34. EDN: RGQUDR. (In Russ.)
- Ereschenko, V., Zhuk, A. 2015. Modernization of a small-sized installation to search for optimal technological modes of drying raw materials. Development of control boards for actuators and data acquisition with RS-232 interface and support for MODBUS RTU protocol. Proceedings of the Intern. scien.-pract. conf. *Science – to Production*, Murmansk, 24–27 March, 2015. Murmansk, pp. 21–26. EDN: VFYHFR. (In Russ.)
- Ereschenko, V., Selyakov, I., Maslov, A., Kaichenov, A. V. 2014. Modernization of a small-sized installation to search for optimal technological modes of drying raw materials. Coll. of articles of the 4th Intern. scien.-pract. conf. *Engineering and Technology: Ways of Innovative Development*, Kursk, 30 June, 2014. Kursk, pp. 110–114. EDN: SZJXJF. (In Russ.)
- Ereschenko, V., Stolyanov, A., Ershov, M., Zhuk, A. 2016. Development of a climate chamber for a small-sized drying plant UPOR-M. Proceedings of the Intern. scien.-pract. conf. *Science – to Production*, Murmansk, 22–25 March, 2016. Murmansk, pp. 43–47. EDN: WKRZOB. (In Russ.)
- Ershov, A., Ershov, M., Mazanikov, A., Nikolaenko, O. 2004. Determination of moisture diffusion coefficients in fish during dehydration. *Vestnik of MSTU*, 7(1), pp. 31–34. EDN: IYCIJ. (In Russ.)
- Ershov, A. 2017. Relaxation processes in the dehydrated surface layer of fish study. Proceedings of the Intern. scien.-pract. conf. *Modern ecological-biological and chemical research, engineering and production technology*, Murmansk, 7 April, 2017. In 2 parts. Part 2. Murmansk, pp. 59–63. EDN: JZBTIT. (In Russ.)
- Ershov, A. 2018. Scientific basis for fish dehydration technology using relaxation processes. *Fisheries*, 6, pp. 98–100. EDN: POJJCZ. (In Russ.)
- Ershov, M. A. 2007. Improvement of methods for calculating dehydration in the processes of cold smoking and drying fish. Abstract of Ph.D. dissertation. Murmansk. (In Russ.)
- Ershov, M., Ershov, A., Nikolaenko, O. 2006. Calculation method for determining the moisture content on the surface of fish in the processes of dehydration. *Vestnik of MSTU*, 9(4), pp. 707–709. EDN: ICJWFD. (In Russ.)
- Ershov, M., Nikolaenko, O. 2011. Methods of calculating the process of dehydration in cold smoked and dried fish. *Vestnik of VSTA*, 1(47), pp. 27–29. EDN: RTVRHN. (In Russ.)
- Ionov, N., Ereschenko, V. 2017. Development of an air preparation system for the installation of a search for drying modes of food raw materials. Proceedings of the Intern. scien.-pract. conf. *Modern ecological, biological and chemical research, technology and production technology*, Murmansk, 7 April, 2017. In 2 parts. Part 2. Murmansk, pp. 133–137. EDN: YOLGFK. (In Russ.)
- Ionov, N., Ereschenko, V., Maslov, A., Ershov, M. 2018. Development of an air conditioning system as part of an installation for searching for fish dehydration modes. Proceedings of the Intern. scien.-pract. conf. *Modern ecological, biological and chemical research, technology and production technology*, Murmansk, 25 April, 2018. Murmansk, pp. 238–243. EDN: YOHRJ. (In Russ.)
- Kaychenov, A., Ereschenko, V., Yatsenko, V., Selyakov, I. 2023. A multi-loop control system for the processing of convective dehydration of fish raw materials. *Vestnik of TSTU*, 2, pp. 254–262. DOI: <https://doi.org/10.17277/vestnik.2023.02.pp.254-262>. EDN: DDOEDI. (In Russ.)
- Petrov, D. 2015. The method of control of small sea fish predrying before cold smoking. *Vestnik NOVSVU*, 3–1(86), pp. 26–30. EDN TZQSYR. (In Russ.)
- Selyakov, I. Yu. 2015. Improving the energy efficiency of convective dehydration processes in the production of smoked and dried fish. Ph.D. Thesis. Murmansk. EDN: SHBDOF. (In Russ.)
- Selyakov, I., Maslov, A., Ershov, M., Kaychenov, A. et al. 2013. Estimation of power efficiency of introduction of relaxation mode at universal smoking drying plant. *Fisheries*, 6, pp. 111–115. EDN: RWGHOD. (In Russ.)
- Semenov, A., Andreev, A., Tsyplakov, A. 2021. Air conditioning analysis drying fish. Coll. of articles of the II Intern. scien.-pract. conf. Saratov, 14 January, 2021. Saratov, pp. 31–39. EDN: KZBFAP. (In Russ.)
- Yashonkov, A. 2018. Theoretical and experimental studies of the drying process kinetics in the output of dried fish products. *Bulletin of Kamchatka State Technical University*, 44, pp. 63–69. DOI: <https://doi.org/10.17217/2079-0333-2018-44-63-69>. (In Russ.)
- Yashonkov, A., Ustinova, M., Kosachev, V. 2021. Anisotropic model of heat transfer kinetics in the process of drying a fish fillet cube. *Bulletin of the Kerch State Marine Technological University*, 4, pp. 274–286. DOI: https://doi.org/10.47404/2619-0605_2021_4_274. EDN: FIJKIM. (In Russ.)

- Al-Mahruqi, N. S., Al-Ismaili, A. M. 2021. A review on solar drying of fish. *Journal of Agricultural and Marine Sciences*, 6(2), pp. 1–9. DOI: <https://doi.org/10.53541/jams.vol26iss2pp1-9>.
- Desnanjaya, I G. M. N., Wiguna, I K. A. G., Nugraha, I M. A. 2023. Fish drying machine with PV system for fisherman to support blue economy. *Bulletin of Electrical Engineering and Informatics*, 12(3), pp. 1352–1358. DOI: <https://doi.org/10.11591/eei.v12i3.4690>.
- Egun, N. K., Imadonmwiniyi, O. O., Iyoha, V. E., Oboh, I. P. 2023. Fish processing and nutrient availability: A study on the effect of drying methods on the nutritional content of selected fish species. *Food and Environment Safety Journal*, 22(1), pp. 50–58. DOI: <https://doi.org/10.4316/fens.2023.005>.

Сведения об авторах

Лукин Сергей Андреевич – ул. Спортивная 13, г. Мурманск, Россия, 183010;
Мурманский арктический университет, ассистент;
e-mail: lukinsa2@mstu.edu.ru, ORCID: <https://orcid.org/0009-0003-7121-6087>

Sergei A. Lukin – 13 Sportivnaya Str., Murmansk, Russia, 183010; Murmansk Arctic University,
Assistant Lecturer; e-mail: lukinsa2@mstu.edu.ru, ORCID: <https://orcid.org/0009-0003-7121-6087>

Кайченев Александр Вячеславович – ул. Спортивная 13, г. Мурманск, Россия, 183010;
Мурманский арктический университет, д-р техн. наук;
e-mail: kaychenovav@mstu.edu.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0358-8888>

Alexandr V. Kaychenov – 13 Sportivnaya Str., Murmansk, Russia, 183010;
Murmansk Arctic University, Dr Sci. (Engineering);
e-mail: kaychenovav@mstu.edu.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0358-8888>

Ерещенко Виктор Валерьевич – ул. Спортивная 13, г. Мурманск, Россия, 183010;
Мурманский арктический университет, ст. преподаватель;
e-mail: ereshchenkovv2@mstu.edu.ru

Victor V. Ereschenko – 13 Sportivnaya Str., Murmansk, Russia, 183010; Murmansk Arctic University,
Senior Lecturer; e-mail: ereshchenkovv2@mstu.edu.ru

Селяков Илья Юрьевич – ул. Спортивная 13, г. Мурманск, Россия, 183010;
Мурманский арктический университет, канд. техн. наук, доцент;
e-mail: selyakoviyu@mstu.edu.ru, ORCID: <https://orcid.org/0009-0002-0801-8363>

Илья Ю. Селяков – 13 Sportivnaya Str., Murmansk, Russia, 183010; Murmansk Arctic University,
Cand. Sci. (Engineering), Associate Professor;
e-mail: selyakoviyu@mstu.edu.ru, ORCID: <https://orcid.org/0009-0002-0801-8363>

УДК 664.8/9+66-93

Scientific and practical basis of cephalopods dehydration processes

Vyacheslav A. Pokholchenko*, Alexander M. Ershov,

Yana A. Glukhikh, Lyudmila A. Mishanina

*Murmansk Arctic University, Murmansk, Russia;

e-mail: pokholchenkova@mstu.edu.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5847-5947>

Article info

Received
05.03.2024;

received
in revised form
11.04.2024;

accepted
19.04.2024

Key words:

dehydration
of cephalopods,
critical point,
generalized dependence,
resource- and energy-
efficient modes,
similarity criteria

For citation

Abstract

Nowadays, it is relevant to solve the problems of adapting optimal resource- and energy-efficient modes to technologies for processing food raw materials. The work is focused on the analysis of the prerequisites to find similar features in the dehydration of food capillary-porous colloidal materials by means of various methods. The authors have studied the patterns of cephalopods dehydration using the example of octopus and squid under different heat treatment regimes. It has been proved that there is only one critical point characterizing the transition from moisture with a lower binding energy to moisture with a higher one, and an equation has been proposed for finding the critical humidity during dehydration of the objects been studied. A generalized mathematical model has been developed to determine the duration of the process at the current moisture content of the food material based on dimensionless similarity criteria characterizing the phenomena been investigated. The dependences of the moisture removal rate for different heat treatment methods of cephalopods are given according to their initial moisture content, the specific surface area of the material and the operating factors that determine the process. The obtained dependencies and patterns open up unique opportunities for labor-saving design in the food industry using rational operating modes of industrial enterprises, optimization of heat treatment processes in general and the creation of energy-efficient equipment new designs.

Pokholchenko, V. A. et al. 2024. Scientific and practical basis of cephalopods dehydration processes. *Vestnik of MSTU*, 27(3), pp. 458–470. (In Engl.) DOI: <https://doi.org/10.21443/1560-9278-2024-27-3-458-470>.

Научно-практические основы процессов обезвоживания головоногих моллюсков

В. А. Похольченко*, А. М. Ершов, Я. А. Глухих, Л. А. Мишанина

*Мурманский арктический университет, г. Мурманск, Россия;

e-mail: pokholchenkova@mstu.edu.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5847-5947>

Информация о статье Реферат

Поступила
в редакцию
05.03.2024;

получена
после доработки
11.04.2024;

принята
к публикации
19.04.2024

Ключевые слова:

обезвоживание
головоногих моллюсков,
критическая точка,
обобщенная зависимость,
ресурсо- и
энергосберегающие
режимы, критерий
подобия

Адаптация оптимальных ресурсо- и энергоэффективных режимов и технологий глубокой переработки пищевого сырья на основе знания закономерностей процессов является актуальной для рыбоперерабатывающей промышленности. Тепловая обработка пищевого сырья обезвоживанием представляется достаточно энергозатратной технологической операцией, при этом составляет основу многих перерабатывающих линий. Создание оптимальных режимов обезвоживания рыбы и других пищевых продуктов в тепловых процессах в основном базируется на закономерностях, проявляющих себя при сушке капиллярно-пористых коллоидных тел. Проведено исследование закономерностей кинетики процессов обезвоживания головоногих моллюсков (кальмара командорского, кальмара аргентинского, осьминога) на созданной авторами промышленной универсальной установке для сушки продуктов с системой автоматического управления и экспериментальной установке для бланширования и сушки продуктов в режимах инфракрасной, конвективной сушки и бланширования в масле. Исследовано влияние факторов, характеризующих видовой, размерно-массовый состав и режимные условия, при этом через установленные промежутки времени контролировались потери влаги пищевым материалом, применялась методика нахождения критических точек, соответствующих достижению в определенный период критической влажности. Выявлено, что у головоногих моллюсков по сравнению с рыбой период постоянной скорости обезвоживания протекает существенно дольше. Окончание данного периода для рыбного сырья соответствует достижению первой критической, а для головоногих моллюсков – единственной критической влажности в процессе обезвоживания. Получено уравнение для нахождения критической влажности при обезвоживании головоногих моллюсков. Предложены симплексы подобия, позволяющие свести множество кинетических зависимостей в одну обобщенную при обезвоживании головоногих моллюсков с разными химическим составом и геометрическими размерами в различных режимах и способах энергоподвода. Найденные зависимости открывают уникальные возможности трудосберегающего проектирования в пищевой инженерии рациональных режимов работы промышленных установок, оптимизации в целом процессов тепловой обработки, а также создания новых конструкций энергоэффективного оборудования.

Для цитирования

Похольченко В. А. и др. Научно-практические основы процессов обезвоживания головоногих моллюсков. *Вестник МГТУ*. 2024. Т. 27, № 3. С. 458–470. DOI: <https://doi.org/10.21443/1560-9278-2024-27-3-458-470>.

Introduction

Heat treatment of food raw materials by dehydration seems to be a rather energy-consuming technological operation. It also forms the basis of many processing lines. Processes and technologies with minimal energy, labor and resources are in great demand in modern conditions. This ensures a reduction in the cost of finished products and increases the efficiency of the use of technological equipment. The development of such processes and technologies is possible based on knowledge of the patterns of their flow and obtaining generalized dependencies.

A significant contribution to the research and development of approximate methods for calculating dehydration processes based on the general patterns of their course was made in the last century by well-known researchers Lykov A. V., Ginzburg A. S. and others (*Ginzburg et al., 1982; Lykov, 1968*). Their work is based on the application of similarity theory. This theory shows the similarity of phenomena with the ratio of interacting factors characterized by similar values of similarity criteria. The processes are characterized by similarity equations with some dimensionless criteria in the established relationships among themselves. The dependence with several certain similarity criteria in such phenomena can be considered a mathematical model of the process.

The creation of optimal modes for fish and other food products dehydration in thermal processes is mainly based on the patterns that reveal during drying of capillary-porous colloidal bodies (*Ginzburg et al., 1982; Lykov, 1968*). The solution of differential equations of heat and mass transfer was carried out mainly under boundary conditions of the first kind (*Bellegha et al., 2002; Mwithiga et al., 2004; Chavan et al., 2008; Ortiz et al., 2013; Pogonets, 2016; Lekrati et al., 2021*) although often the heat treatment of hydrobionts occurs under boundary conditions of the third kind.

A lot of researches are devoted to the study of the water activity coefficient which depends on the degree of dehydration of fish or other food products (*Fu et al., 2007; Vega-Gálvez et al., 2009; Voronenko et al., 2009; Uribe et al., 2011; Ozuna et al., 2014*).

In the works devoted to the study of food dehydration processes, various methods of generalization of dehydration kinetics curves can be noted (*Bellegha et al., 2002; Yuvanaree et al., 2004; Chavan et al., 2008; Shi et al., 2008; Uribe et al., 2011; Ortiz et al., 2013; Ozuna et al., 2014*). However, for the fishing industry, the above methods have limited application, and their use does not contribute to the identification of general patterns of heat and mass transfer in raw materials under various modes and methods of energy supply.

Scientists have developed several methods for calculating the kinetics of dehydration based on general patterns of processes to reduce the number of experiments (*Ginzburg et al., 1982; Shi et al., 2008; Vega-Gálvez et al., 2009; Ershov, 1992; Pokholchenko et al., 2015, 2020, 2022*).

Generalizing the dehydration kinetics curves based on dimensionless similarity criteria has been proposed. A clear relationship has been established between critical moisture on the dehydration kinetics curves and the chemical composition of fish. The second critical point on the dehydration kinetics curve occurs when microcapillary moisture is removed. At the same time the binding energy of moisture in fish increases with dehydration and the size of capillaries decreases significantly, especially in the near-surface layers (*Ershov, 1992; Glazunov et al., 2013; Pokholchenko et al., 2015, 2020, 2022*).

The authors have previously proposed mathematical models of the kinetics of dehydration of fish raw materials under the influence of a thermal agent in the temperature range from 40 to 180 °C in the processes of semi-hot, hot drying, drying and roasting (*Glazunov et al., 2013; Pokholchenko et al., 2015*).

However, there is insufficient information for the computational and analytical design and heat treatment processes optimization for non-fishery species, such as cephalopods, submitted mainly only by partial dependencies. The proposed methods have limited application and their use does not contribute to identifying the general patterns of heat and mass transfer in a raw material under different modes and energy supply methods (*Yuvanaree et al., 2004; Fu et al., 2007; Valencia-Pérez et al., 2008; Vega-Gálvez et al., 2009; Kucherenko et al., 2010; Uribe et al., 2011; Deng et al., 2014; Wang et al., 2014; Pogonets, 2016; Zhao et al., 2017; Blagonravova et al., 2021; Lekrati et al., 2021*).

It is necessary to examine the nature of moisture removal under different modes and methods of energy supply. It should be done in order to work out a generalized model of the cephalopods dehydration process, to identify the availability and number of critical points that characterize changes in the ways of moisture and the material connection. It is necessary to estimate the possibility of using previously obtained generalized dependencies for fish raw materials when designing dehydration processes for non-fishery species. The range of criteria for various methods of their heat treatment in a generalized model should also be worked out.

Materials and methods

The processes of cephalopods dehydration have been worked out. Frozen raw materials: squid commander, squid Argentine, octopus were used as objects of heat treatment. Kinetic dependencies have been studied taking into consideration the influence of each determining factor on the nature of the process separately. The experiments were grouped in series, in each of them the studied factor affecting the process was changed within the specified limits. The remaining factors were kept constant over time.

The influence of factors characterizing the species, size and mass composition and regime conditions is investigated. Moisture loss of food material was controlled by the standard method at regular intervals.

The experimental part of kinetics processes research of the cephalopod's dehydration was carried out on an industrial universal plant created and tested to produce dried, smoked hydrobionts in wide temperature ranges (Fig. 1). The installation is equipped with a hardware and software complex. The automatic control system is implemented based on a controller and consists of four separate units (Fig. 1). The installation is used to work out energy-efficient modes of products dehydration and the release of small batches of dried and smoked products (Glazunov *et al.*, 2013).



Fig. 1. Universal unit for drying and smoking products with automatic control system:
1 – automatic control unit; 2 – manual control unit; 3 – power unit; 4 – distribution unit
(source: compiled by the authors)

Рис. 1. Универсальная установка для сушки и копчения продуктов с системой автоматического управления: 1 – блок автоматического управления; 2 – блок ручного управления; 3 – силовой блок; 4 – распределительный блок
(источник: составлено авторами)

Some of the experiments were carried out on an experimental laboratory installation adapted for the combined process of blanching and drying products (Fig. 2).

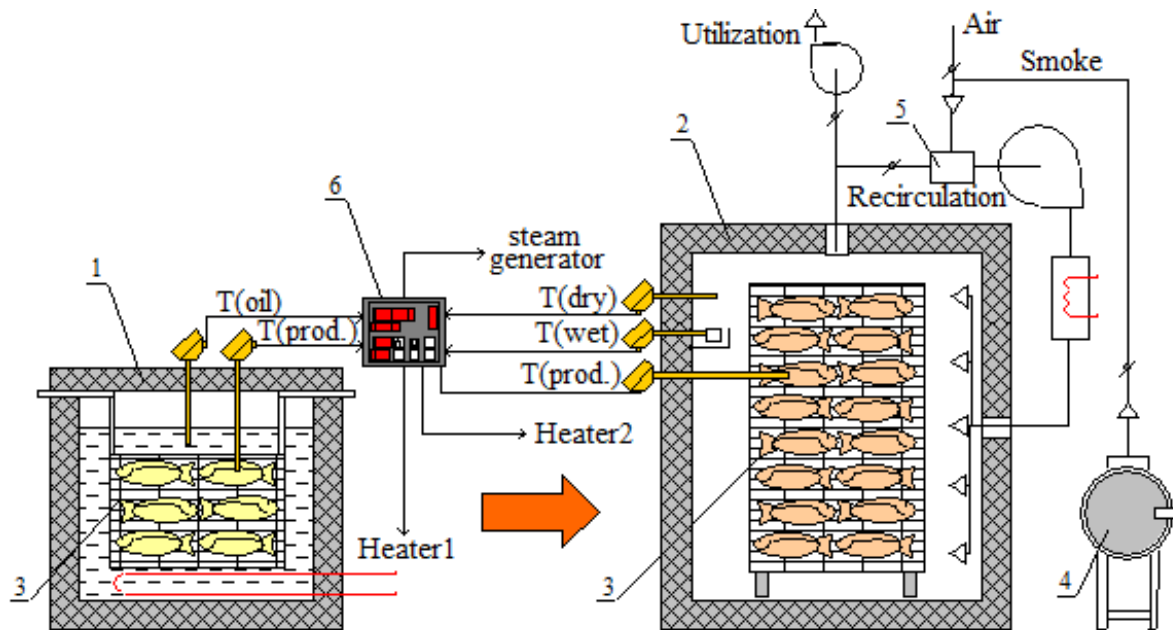


Fig. 2. Experimental installation for blanching and drying products:

- 1 – blanching treatment unit; 2 – drying chamber; 3 – grids with processing objects;
- 4 – smoke generator; 5 – drying agent mixing unit; 6 – controller (source: compiled by the authors)

Рис. 2. Экспериментальная установка для бланширования и сушки продуктов:

- 1 – блок обработки бланшированием; 2 – камера обезвоживания сушкой; 3 – сетки с объектами обработки; 4 – генератор дыма; 5 – блок смешивания тепловых агентов; 6 – контроллер (источник: составлено авторами)

The technique of finding critical points corresponding to the achievement of critical moisture ω_{ki} in a certain period τ_{ki} has been used in the research. The technique consists of the dehydration kinetics curves construction in semi-logarithmic coordinates. They are seen as broken lines from a curve and two or three straight lines (Ershov, 1992; Pokholchenko et al., 2015; 2022). To establish generalized patterns and mathematical modeling of heat treatment processes, methods of similarity theory were used (Glazunov et al., 2013) to find the similarity of the phenomena under research based on the definition of dimensionless criteria-simplices of the form:

$$\frac{\tau_1}{\tau_{(k1)1}} \cdot \frac{\tau_1}{\tau_{(k2)1}} = \frac{\tau_n}{\tau_{(k1)n}} \cdot \frac{\tau_n}{\tau_{(k2)n}} = \dots = \text{const}, \quad \frac{\omega}{\omega_{k1}} \cdot \frac{\omega}{\omega_{k2}} = f\left(\frac{\tau}{\tau_{k1}} \cdot \frac{\tau}{\tau_{k2}}\right), \quad \frac{\omega_i}{\omega_{ki}} = f\left(\frac{\tau_i}{\tau_{ki}}\right).$$

Results

The kinetics of the processes of dehydration of non-fishing objects – cephalopods as the example of squids and octopuses under various modes and methods of heat treatment has been studied.

It is well known that the dehydration of food materials during the process is accompanied by transitions from moisture with a lower binding energy to that with a higher one. At the same time, the kinetics curves of dehydration of wet materials contain critical points corresponding to transitions between various forms of moisture-substance bonding. There can be from one to several such critical points on the dehydration kinetics curves (Ershov, 1992; Glazunov et al., 2013; Lykov, 1998; Pokholchenko et al., 2015, 2022). For example, during the dehydration of fish raw materials, the presence of two critical moistures was established regardless of the nature of the thermal effect on the processing object. The critical moistures ω_{k1} and ω_{k2} with sufficient accuracy for engineering calculations are described by the following equations (Ershov, 1992):

$$\omega_{k1} = 1.069\omega_0^{0.969}, \quad (1)$$

$$\omega_{k2} = 0.784\omega_0 + 2, \quad (2)$$

where ω_0 is the initial moisture content in the material, expressed in terms of dry matter, %.

The critical moisture during dehydration of fish raw materials generally depends only on its initial moisture content as can be seen from expressions (1) and (2).

Initially the task was to identify how many critical points arise during the dehydration of such capillary-porous colloidal food materials as cephalopods (Fig. 3). It was also necessary to clarify whether it was possible

to apply the patterns obtained by the authors earlier in the research. It was devoted to the processes of fish raw materials dehydration in various ways modeling the thermal processes of cephalopods treatment (Glazunov et al., 2013; Pokholchenko et al., 2015; 2020).

The processes of shredded Argentine squid (*Illex argentes*) infrared drying with an initial moisture content of 74.0 % for total mass, an average initial mass 0.25 ± 0.01 kg of specimen, a mantle length of 0.21 ± 0.01 m at a temperature of 90 up to 110 ± 1 °C with a specific load on the drying meshes from 2.7 to 6.0 kg/m^2 (Fig. 3, a) have been researched.

The process of blanching octopuses (*Octopus vulgaris*) with an initial moisture content of 81.6 % total weight and a specific surface area of 0.26 to $0.33 \text{ m}^2/\text{kg}$ was carried out in vegetable oil heated to a temperature of 120 ± 2 °C. In this case, a semi-finished product partially dehydrated by blanching was obtained for the production of canned delicacies (Fig. 3, b).

Commander squid (*Berryteuthis magister*) dehydration with an initial moisture content of the 79.5 % total weight, specific surface area from 0.18 to $0.23 \text{ m}^2/\text{kg}$ was carried out by convective treatment by air semi-hot drying at a drying agent temperature from 65 to 80 ± 1 °C, relative air humidity 40 ± 2 % and air circulation speed 4.0 ± 0.5 m/s (Fig. 3, c). The dried semi-finished product was then sent for shredding and canning.

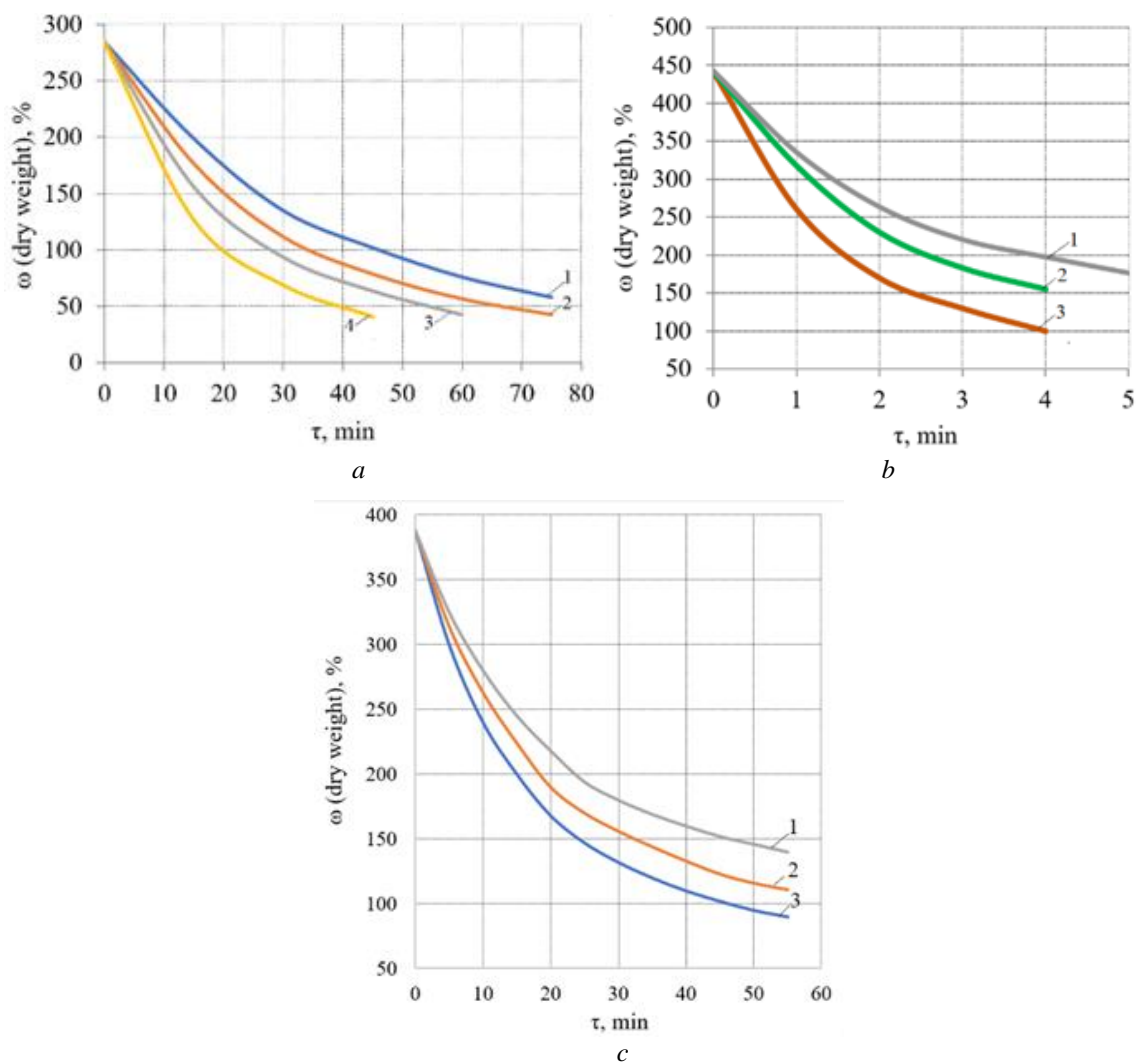


Fig. 3. Kinetics curves of cephalopods dehydration under various modes of heat treatment:
 a – infrared drying shredded squid at a specific load on the carrier: 1 – 6.0; 2 – 4.7; 3 – 4.0; 4 – 2.7 kg/m^2 ;
 b – blanching octopus in vegetable oil with a specific surface: 1 – 0.26; 2 – 0.30; 3 – 0.36 m^2/kg ;
 c – semi-hot convective drying squid with a specific surface: 1 – 0.18; 2 – 0.21; 3 – 0.23 m^2/kg
 (source: compiled by the authors)

Рис. 3. Кривые обезвоживания головоногих моллюсков при различных режимах тепловой обработки:
 а – инфракрасная сушка шинкованного кальмара с удельной нагрузкой на носитель:
 1 – 6,0; 2 – 4,7; 3 – 4,0; 4 – 2,7 кг/м^2 ; б – бланширование в растительном масле осьминога с удельной
 поверхностью: 1 – 0,26; 2 – 0,30; 3 – 0,36 $\text{м}^2/\text{кг}$; в – конвективная полугорячая сушка кальмара
 с удельной поверхностью: 1 – 0,18; 2 – 0,21; 3 – 0,23 $\text{м}^2/\text{кг}$ (источник: составлено авторами)

The patterns are the partial kinetic dependencies of the dehydration processes of the Argentine squid during its processing by infrared drying on conveyor grids (Fig. 3, *a*) also octopus during its blanching in vegetable oil (Fig. 3, *b*) as well as commander squid under conditions of convective treatment by semi-hot drying (Fig. 3, *c*).

As can be seen from the kinetics curves of cephalopods dehydration, regardless of the thermal action method on the processed material the nature of the processes is identical. At the same time, the rate of dehydration increases with a decrease in the specific load on the carriers or an increase in the specific surface of the processing objects (Fig. 3).

In order to identify critical moisture, the dehydration kinetics curves were transferred to semi-logarithmic coordinates of the form $\lg \omega_i = f(\tau_i)$. Graphs in this form for the analysis of the process can be considered as broken straight lines. Fig. 4 shows an example of a squid dehydration kinetics curve constructed in a semi-logarithmic anamorphosis.

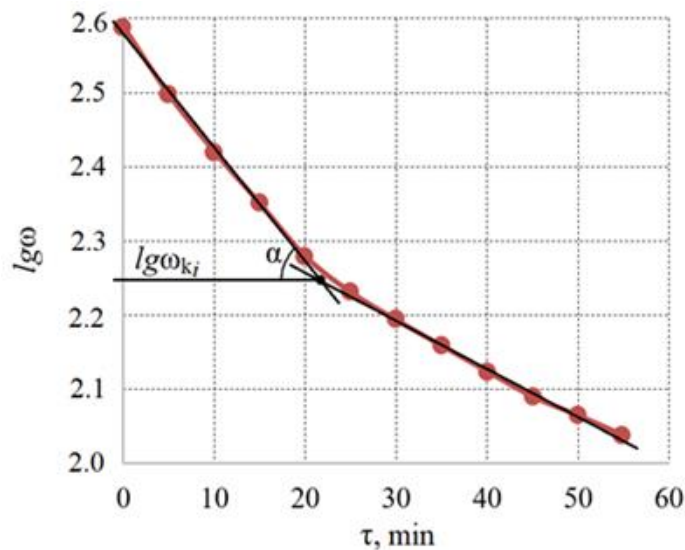


Fig. 4. Squid dehydration kinetics curve in semi-logarithmic coordinates
 (source: compiled by the authors)

Рис. 4. Кривая кинетики обезвоживания кальмаров в полулогарифмических координатах
 (источник: составлено авторами)

Mathematical processing of semi-logarithmic dependencies $\lg \omega_i = f(\tau_i)$ allowed us to determine critical points for a set of dehydration curves of cephalopods. The presence in all studied cases only one critical moisture ω_{ki} to find which the linear regression relationship is proposed

$$\omega_{ki} = 0.091\omega_0^{1.268}. \quad (3)$$

The research suggested the generalizing of the cephalopods dehydration kinetics curves with completely different methods of energy supply.

In order to generalize the cephalopods dehydration kinetics curves, the decision was made to use dimensionless similarity numbers (criteria – simplexes) of the species

$$\frac{\omega_i}{\omega_{ki}} = f\left(\frac{\tau_i}{\tau_{ki}}\right). \quad (4)$$

Many particular cephalopods dehydration kinetics curves under various methods and modes of heat treatment were combined into one generalized curve (Fig. 5).

As can be seen from Fig. 5, the partial kinetics curves of cephalopods dehydration with different methods of energy supply can be described by one generalized dependence. Having used the data processing Datafit 9.1.32 mathematical description of the nonlinear regression dependency with the use of non-dimensional simplex is proposed

$$\frac{\omega_i}{\omega_{ki}} = 2.296 \left(1 + \frac{\tau_i}{\tau_{ki}}\right)^{-1.158}. \quad (5)$$

For dependency (5) Fisher criteria is 5273, the significance of the numerical coefficients is 99.9 %, which generally indicates a significant relationship between the variables in the equation.

Dependency (5) can be used in technological calculations to determine the current (final) moisture cephalopods in the process of dehydration

$$\omega_i = 2.296 \cdot \omega_{ki} \cdot \left(1 + \frac{\tau_i}{\tau_{ki}}\right)^{-1.158} \quad (6)$$

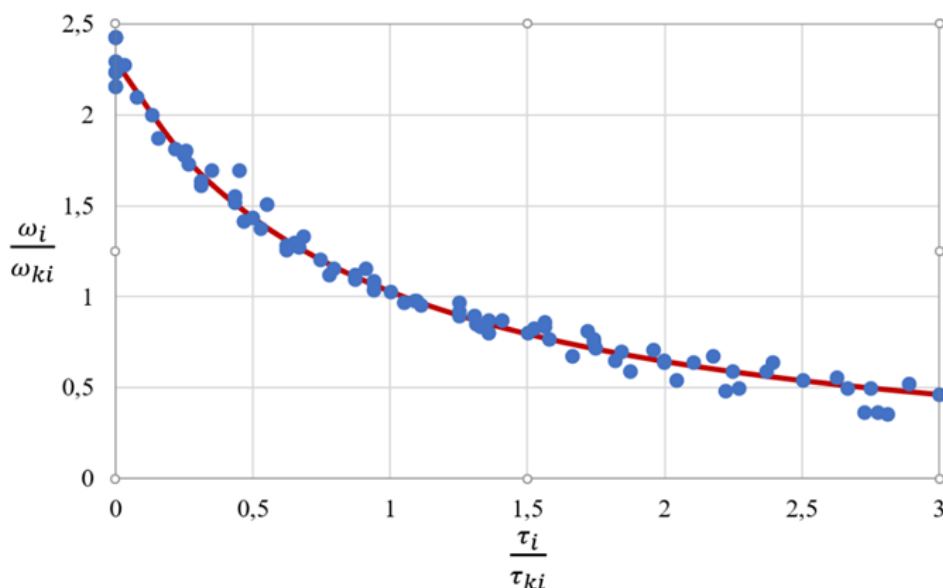


Fig. 5. Generalized kinetics curve of cephalopods dehydration

(source: compiled by the authors)

Рис. 5. Обобщенная кривая кинетики обезвоживания головоногих моллюсков

(источник: составлено авторами)

The duration of the current (final) cephalopods moisture achievements can be determined from the expression (4) in the form of the following formula

$$\tau_i = \tau_{ki} \cdot \left(2.049 \left(\frac{\omega_i}{\omega_{ki}}\right)^{-0.863} - 1\right) \quad (7)$$

Discussion

The creation of computational methods for optimizing thermal processes is particularly in demand in food engineering while adapting and implementing energy- and resource-saving technologies. Nowadays the supply of cephalopods to coastal enterprises has decreased due to restrictions on fishing for the main producing countries. Increased conservation of dwindling cephalopod stocks and premature closure of fishing seasons are driving up the price of high-value seafood such as squid and octopus. In addition, the decline in supplies is also due to an unstable epidemiological situation and a reduction in labor resources at the production facilities. Therefore, in the current conditions, a deeper processing of raw materials is highly necessary, obtaining high-quality products, although in smaller quantities but at the same time not requiring subsequent processing. Deep processing of raw materials should be carried out using energy- and resource-saving technologies. Their effective implementation should be based on knowledge of generalized patterns of processes. The processes of food materials dehydration in technological lines in most cases fall into the most energy- and resource-intensive categories.

It is noted that the dehydration of cephalopods proceeds somewhat differently than the dehydration of fish raw materials. The dependencies of critical moisture on the initial moisture content (Fig. 6) in fish raw materials and cephalopods based on equations (1–3) are analyzed. The dependencies presented in Fig. 6 demonstrate the nature of the relationship between the initial and critical humidity during the dehydration of fish raw materials and cephalopods.

Fig. 6 demonstrates the nature of the connection between the initial moisture and the critical one during the dehydration of fish raw materials and cephalopods. The graphs show that cephalopods have the period of constant dehydration rate significantly longer compared with fish. The end of this period for fish raw materials corresponds to the achievement of the first critical moisture ω_{ki} and for cephalopods – the only critical moisture in the dehydration process ω_{ki} . For example, with the same initial moisture content of raw materials of 400 %,

a critical point in the process of dehydration of cephalopods will occur when the critical moisture of 180 % is reached. The same goes with fish – at 315 % (Fig. 6). The different nature of dehydration is explained by the difference in the internal structure and thermolabile properties of cephalopods and fish as capillary-porous colloidal materials (Fuet et al., 2007; Valencia-Pérez et al., 2008; Kucherenko et al., 2010; Uribe et al., 2011; Chen et al., 2013; Deng et al., 2014; Wang et al., 2014; Zhao et al., 2017; Mouritsen et al., 2018; Blagonravova et al., 2021; Lekrati et al., 2021). The tissues of cephalopods have greater elasticity than those of fish and retain it much longer during the heat treatment process. On the contrary, in the tissues of fish raw materials, capillaries undergo significant shrinkage with the formation of a crust as they dehydrate which slows down the process of removing moisture. The product quickly loses elasticity and eventually fish tissues can be easily freed from bones and divided into septa (Ginzburg et al., 1982; Ortiz et al., 2013; Wang et al., 2014; Voronenko et al., 2009; Glazunov et al., 2013).

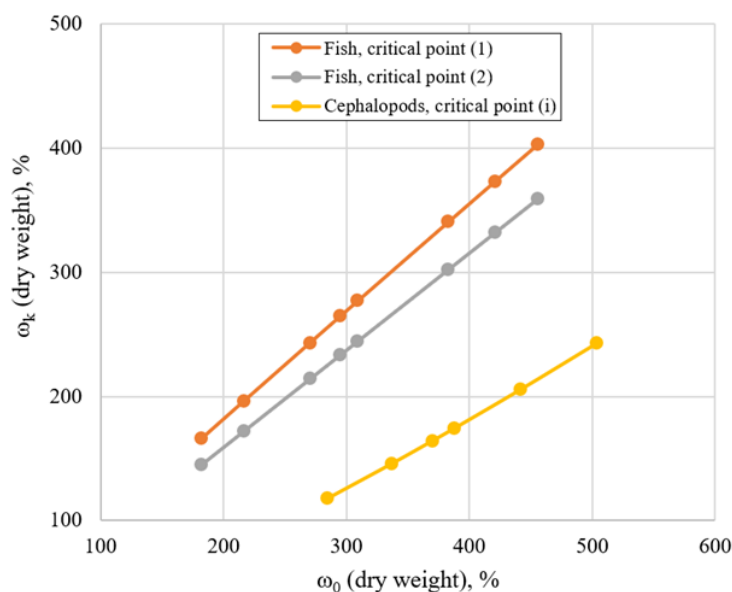


Fig. 6. Critical moisture dependencies on the initial moisture of hydrobionts
 (source: compiled by the authors)

Рис. 6. Зависимости критических влажностей от начальной влажности гидробионтов
 (источник: составлено авторами)

Therefore, in engineering calculations, when designing optimal modes of fish and cephalopods dehydration, it is necessary to use different equations for calculating critical moisture. Cephalopod's dehydration treatment includes the period of constant drying rate proceeds more intensively than fish. The period is characterized by higher moisture losses over an equal period under identical conditions and comparable initial moisture of raw materials.

The scientific novelty of the work includes obtaining general patterns of dehydration processes during heat treatment of squid and octopuses.

The assumption about the possibility of generalizing the partial curves of the cephalopods dehydration kinetics under different modes of thermal processes was confirmed. Many curves of cephalopods dehydration are summarized in one generalized relationship and its mathematical description is proposed. Based on the analysis of the research results, it is highly necessary to use different equations in the calculation of critical moisture. The data presented in the work confirm that the period of constant drying rate which cephalopods have is more intensive than fish do. The period is characterized by higher moisture losses for an equal period under identical conditions and comparable initial moisture content of raw materials. This should be considered in engineering calculations when designing optimal resource and energy saving processes for cephalopods and fish dehydration.

Dependencies (1–3) indicate that the critical moisture is a function of the initial moisture. At the same time, the durations of reaching critical moistures in conjunction with the latter are the coordinates of critical points on the drying kinetics curves. The critical points show the dependence of the dehydration rate on the rigidity of heat treatment, the size and mass parameters of the dehydrated material, its chemical composition and properties.

Therefore, the use of simplex criteria like $\frac{\tau_i}{\tau_{ki}}, \frac{\tau_i}{\tau_{k1}}, \frac{\tau_i}{\tau_{k2}}, \frac{\omega_i}{\omega_{ki}}, \frac{\omega_i}{\omega_{k1}}, \frac{\omega_i}{\omega_{k2}}$ for computational and analytical

modeling of dehydration processes (*Glazunov et al., 2013; Pokholchenko et al., 2015*), simple mathematical dependencies are given for modeling the required modes in design activities with the identification of the kinetics curves by calculation.

The results of mathematical processing of experimental data have shown sufficient reliability and adequacy of mathematical models (3–7) for their use in engineering calculations of processes and devices of food production.

In order to apply the generalized dehydration kinetics curve in engineering calculations, it is necessary to know the duration of reaching the critical moisture ω_k . Considering that the process of dehydration to the first critical point proceeds at a constant rate of dehydration and is linear in nature, the equation can be used to calculate the duration of reaching critical moisture (*Glazunov et al., 2013; Pokholchenko et al., 2015*)

$$\tau_{k1} = \frac{\omega_0 - \omega_{k1}}{N}, \quad (8)$$

where N is the rate of dehydration to the first critical moisture.

The rate of material dehydration to the first critical moisture generally determines the nature of the process. For each thermal process under research, empirical equations (*Ershov, 1992; Glazunov et al., 2013; Pokholchenko et al., 2015*) for finding the rate of dehydration to the first critical moisture are determined on the basis of partial curves of the dehydration kinetics, as functional dependencies on the parameters determining the process.

For the processes of cephalopods heat treatment, the following range of criteria is specified:

– infrared drying process

$$N = f\left(\omega_0, \frac{S}{m}, X_{IR}\right), \quad (9)$$

where ω_0 is the initial moisture content of the raw material; S/m is its specific surface area (in a particular case, the specific load of the food material on the carrier can be indirectly taken into account); X_{IR} is the rigidity of the heat treatment mode (combines the influence of the power of infrared emitters);

– the process of blanching in vegetable oil

$$N = f\left(\omega_0, \frac{S}{m}, T_o\right), \quad (10)$$

here T_o is the temperature of the working medium (vegetable oil);

– the process of semi-hot drying by convective method

$$N = f\left(\omega_0, \frac{S}{m}, T, \varphi, \nu\right), \quad (11)$$

here the T и φ are the temperature and relative humidity of the drying agent in the chamber; ν is the circulation rate of the drying agent in the circuit, m/s.

Taking into account the different nature of the cephalopods and fish raw materials dehydration processes, it is reasonable to use the proposed mathematical dependencies (3–8) for the cephalopods while designing optimal heat treatment modes for various methods of energy supply. The applying the dimensionless criteria-simplexes in generalizing the patterns of thermal processes of food capillary-porous colloidal materials dehydration with similar internal structure and properties, allows to obtain adequate and uncomplicated mathematical models for their use in engineering calculations.

Conclusion

It has been proved that during the dehydration of cephalopods there is one critical point due to the corresponding structure of the tissues of capillary-porous colloidal material. A mathematical expression is obtained for finding the critical moisture during dehydration of cephalopods.

Analysis of the research results confirmed the necessity of using different mathematical dependencies for calculating critical humidity in engineering calculations while designing dehydration modes for fish and cephalopods.

The possibility of generalizing the kinetics curves in cephalopods dehydration with different methods of energy supply is confirmed.

Similarity simplexes have been offered that make it possible to reduce many kinetic dependencies of cephalopods dehydration with different size, mass and chemical composition under different process parameters into one generalized dependency.

A range of criteria for calculating the dehydration rate for various methods of cephalopods heat treatment has also been worked out.

Cephalopods after dehydration under different conditions of heat treatment were sent to the manufacture of food products (canned food, cooking, snacks), shown in Fig. 7.



Fig. 7. Dehydrated semi-finished product and finished products from cephalopods (source: compiled by the authors)
Рис. 7. Обезвоженный полуфабрикат и готовая продукция из головоногих моллюсков
(источник: составлено авторами)

New scientific results obtained in research of cephalopods dehydration processes can be used in the development of industrial technologies and techniques for dewatering aquatic biological resources with a unique opportunity to choose optimal modes analytically based on generalized dependencies, without additional costs for time-consuming research.

Conflict of interest

The authors declare no conflicts of interests.

References

- Bellagha, S., Amami, E., Farhat, A., Kechaou, N. 2002. Drying kinetics and characteristic drying curve of lightly salted sardine (*Sardinella aurita*). *Drying Technology*, 20(7), pp. 1527–1538. DOI: <https://doi.org/10.1081/DRT-120005866>.
- Blagoravova, M. V., Samokhin, A. B. 2021. Substantiation of squid integumentary tissues drying technological parameters using infrared radiation. *Bulletin of Kamchatka State Technical University*, 57, pp. 30–43. DOI: <https://doi.org/10.17217/2079-0333-2021-57-30-43>. EDN: EGDMOU. (In Russ.)
- Chavan, B. R., Yakupitiyage, A., Kumar, S. 2008. Mathematical modeling of drying characteristics of Indian mackerel (*Rastrilliger kangurta*) in solar-biomass hybrid cabinet dryer. *Drying Technology*, 26(12), pp. 1552–1562. DOI: <https://doi.org/10.1080/07373930802466872>.

- Chen, H., Zhang, M., Fang, Z., Wang, Y. 2013. Effects of different drying methods on the quality of squid cubes. *Drying Technology*, 31(16), pp. 1911–1918. DOI: <https://doi.org/10.1080/07373937.2013.783592>.
- Deng, Y., Luo, Y., Wang, Y., Yue, J. et al. 2014. Drying-induced protein and microstructure damages of squid fillets affected moisture distribution and rehydration ability during rehydration. *Journal of Food Engineering*, 123, pp. 23–31. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2013.09.006>.
- Ershov, A. M. 1992. The development and improving of the cold smoking processes based on intensification of moisture and smoking agents mass transfer. Ph.D. Thesis. Murmansk. (In Russ.)
- Fu, X.-Y., Xue, C.-H., Miao, B.-C., Li, Z.-J. et al. 2007. Effect of processing steps on the physico-chemical properties of dried-seasoned squid. *Food Chemistry*, 103(2), pp. 287–294. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2006.07.047>.
- Ginzburg, A. S., Savina, I. M. 1982. Mass- and moisture exchange characteristics of food products. Moscow. (In Russ.)
- Glazunov, Yu. T., Ershov, A. M., Ershov, M. A., Pokholchenko, V. A. 2013. The processes of fish drying, dry-curing, smoking and equipment design. Kaliningrad. (In Russ.)
- Kucherenko, N. A., Boitsova, T. N. 2010. Technology development of dried molded products from squid. *Izvestiya TINRO*, 162, pp. 407–416. EDN: NDOQYT.
- Lekrati, M., Vezaz, Z. H. 2021. Study of salted octopus drying kinetics and hygroscopy from artisanal fishing in Agadir region. *Biosciences Biotechnology Research Asia*, 18(3), pp. 619–627. DOI: <https://doi.org/10.13005/bbra/2946>.
- Lykov, A. V. 1968. Drying theory. Moscow. (In Russ.)
- Mouritsen, O. G., Styrbæk, K. 2018. Cephalopod gastronomy – a promise for the future. *Frontiers in Communication*, 3. DOI: <https://doi.org/10.3389/fcomm.2018.00038>.
- Mwithiga, G., Olwal, J. O. 2005. The drying kinetics of kale (*Brassica oleracea*) in a convective hot air dryer. *Journal of Food Engineering*, 71(4), pp. 373–378. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2004.10.041>.
- Namsanguan, Y., Tia, W., Devahastin, S., Soponronnarit, S. 2004. Drying kinetics and quality of shrimp undergoing different two-stage drying processes. *Drying Technology*, 22(4), pp. 759–778. DOI: <https://doi.org/10.1081/DRT-120034261>.
- Ortiz, J., Lemus-Mondaca, R., Vega-Gálvez, A., Ah-Hen, K. et al. 2013. Influence of air-drying temperature on drying kinetics, colour, firmness and biochemical characteristics of Atlantic salmon (*Salmo salar* L.) fillets. *Food Chemistry*, 139(1–4), pp. 162–169. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2013.01.037>.
- Ozuna, C., Cárcel, J. A., Walde, P. M., Garcia-Perez, J. V. 2014. Low-temperature drying of salted cod (*Gadus morhua*) assisted by high power ultrasound: Kinetics and physical properties. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 23, pp. 146–155. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2014.03.008>.
- Pogonets, V. I. 2016. Upgrade installation to intensify drying squid in carefully-twisted threads. *Scientific Journal of the Far East State Technical Fisheries University*, 37, pp. 110–117. EDN: WJGRRD. (In Russ.)
- Pokholchenko, V. A., Ershov, A. M., Ershov, M. A. 2015. Peculiarities of generalization of similar phenomena in the process of fish heat treatment. *Proceedings of the Voronezh State University of Engineering Technologies*, 2(64), pp. 44–50. EDN: UAOLNL. (In Russ.)
- Pokholchenko, V., Mishanina, L., Ilyin, A., Glukhikh, Ya. 2022. Efficient heat treatment in fish hot smoking technology. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, Volume 1052, International Conference on Production and Processing of Agricultural Raw Materials. DOI: <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1052/1/012083>.
- Pokholchenko, V., Smirnova, A., Glukhikh, Ya. 2020. Convective drying at fish chips technology. KnE Life Sciences : International Applied Research Conference "Biological Resources Development and Environmental Management", pp. 752–762. DOI: <https://doi.org/10.18502/kls.v5i1.6163>.
- Shi, Q.-L., Xue, C.-H., Zhao, Y., Li Z.-J. et al. 2008. Optimization of processing parameters of horse mackerel (*Trachurus japonicus*) dried in a heat pump dehumidifier using response surface methodology. *Journal of Food Engineering*, 87(1), pp. 74–81. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2007.11.010>.
- Uribe, E., Miranda, M., Vega-Gálvez, A., Quispe, I. et al. 2011. Mass transfer modelling during osmotic dehydration of jumbo squid (*Dosidicus gigas*): Influence of temperature on diffusion coefficients and kinetic parameters. *Food and Bioprocess Technology*, 4, pp. 320–326. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11947-010-0336-2>.
- Valencia-Pérez, A. Z., García-Morales, M. H., Cárdenas-López, J. L. et al. 2008. Effect of thermal process on connective tissue from jumbo squid (*Dosidicus gigas*) mantle. *Food Chemistry*, 107(4), pp. 1371–1378. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2007.09.060>.
- Vega-Gálvez, A., Andrés, A., Gonzalez, E., Notte-Cuello, E. et al. 2009. Mathematical modelling on the drying process of yellow squat lobster (*Cervimunida jhoni*) fishery waste for animal feed. *Animal Feed Science and Technology*, 151(3–4), pp. 268–279. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.anifeeds.2009.01.003>.
- Voronenko, B. A., Gusev, B. K., Pelenko, V. V., Starikov, V. V. 2009. Analytical solution of the problem of joint heat and mass transfer in the process of hot drying of meat and fish products. *Bulletin of KrasSAU*, 9(36), pp. 171–176. EDN: JVULES (In Russ.)

- Wang, Y., Zhang, M., Mujumdar, A. S., Chen, H. 2014. Drying and quality characteristics of shredded squid in an infrared-assisted convective dryer. *Drying Technology*, 32(15), pp. 1828–1839. DOI: <https://doi.org/10.1080/07373937.2014.952379>.
- Zhao, C.-C., Jiang, G.-H., Eun, J.-B. 2017. Optimization of drying process for squid-laver snack by a combined method of fuzzy synthetic and response surface methodology. *Journal of Food Quality*. Article number: 9761356. DOI: <https://doi.org/10.1155/2017/9761356>.

Библиографический список

- Bellagha S., Amami E., Farhat A., Kechaou N. Drying kinetics and characteristic drying curve of lightly salted sardine (*Sardinella aurita*). *Drying Technology*. 2002. Vol. 20, Iss. 7. P. 1527–1538. DOI: <https://doi.org/10.1081/DRT-120005866>.
- Благодарова М. В., Самохин А. В. Обоснование технологических параметров сушки покровных тканей кальмара с использованием инфракрасного излучения // Вестник Камчатского государственного технического университета. 2021. № 57. С. 30–43. DOI: <https://doi.org/10.17217/2079-0333-2021-57-30-43>. EDN: EGDMOU.
- Chavan B. R., Yakupitiyage A., Kumar S. Mathematical modeling of drying characteristics of Indian mackerel (*Rastrilliger kangurta*) in solar-biomass hybrid cabinet dryer. *Drying Technology*. 2008. Vol. 26, Iss. 12. P. 1552–1562. DOI: <https://doi.org/10.1080/07373930802466872>.
- Chen H., Zhang M., Fang Z., Wang Y. Effects of different drying methods on the quality of squid cubes. *Drying Technology*. 2013. Vol. 31, Iss. 16. P. 1911–1918. DOI: <https://doi.org/10.1080/07373937.2013.783592>.
- Deng Y., Luo Y., Wang Y., Yue J. [et al.]. Drying-induced protein and microstructure damages of squid fillets affected moisture distribution and rehydration ability during rehydration. *Journal of Food Engineering*. 2014. Vol. 123. P. 23–31. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2013.09.006>.
- Ершов А. М. Развитие и совершенствование процессов холодного копчения на основе интенсификации массопереноса влаги и копильных компонентов: дис. ... д-ра техн. наук. Мурманск : МГАРФ, 1992. 250 с.
- Fu X.-Y., Xue C.-H., Miao B.-C., Li Z.-J. [et al.]. Effect of processing steps on the physico-chemical properties of dried-seasoned squid. *Food Chemistry*. 2007. Vol. 103, Iss. 2. P. 287–294. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2006.07.047>.
- Гинзбург А. С., Савина И. М. Массовлагообменные характеристики пищевых продуктов. М. : Легкая и пищевая промышленность, 1982. 280 с.
- Глазунов Ю. Т., Ершов А. М., Ершов М. А., Похольченко В. А. Процессы сушки, копчения, вяления рыбы и их аппаратное оформление. Калининград : Изд-во Калининград. гос. техн. ун-та, 2013. 220 с.
- Kucherenko N. A., Boitsova T. N. Technology development of dried molded products from squid. *Izvestiya TINRO*. 2010. Vol. 162. P. 407–416. EDN: NDOQYT.
- Lekrati M., Vezaz Z. H. Study of salted octopus drying kinetics and hygroscopy from artisanal fishing in Agadir region. *Biosciences Biotechnology Research Asia*. 2021. Vol. 18, Iss. 3. P. 619–627. DOI: <https://doi.org/10.13005/bbra/2946>.
- Лыков А. В. Теория сушки. М. : Энергия, 1968. 472 с.
- Mouritsen O. G., Styrbæk K. Cephalopod gastronomy – a promise for the future. *Frontiers in Communication*. 2018. Vol. 3. DOI: <https://doi.org/10.3389/fcomm.2018.00038>.
- Mwithiga G., Olwal J. O. The drying kinetics of kale (*Brassica oleracea*) in a convective hot air dryer. *Journal of Food Engineering*. 2005. Vol. 71, Iss. 4. P. 373–378. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2004.10.041>.
- Namsangan Y., Tia W., Devahastin S., Soponronnarit S. Drying kinetics and quality of shrimp undergoing different two-stage drying processes. *Drying Technology*. 2004. Vol. 22, Iss. 4. P. 759–778. DOI: <https://doi.org/10.1081/DRT-120034261>.
- Ortiz J., Lemus-Mondaca R., Vega-Gálvez A., Ah-Hen K. [et al.]. Influence of air-drying temperature on drying kinetics, colour, firmness and biochemical characteristics of Atlantic salmon (*Salmo salar* L.) fillets. *Food Chemistry*. 2013. Vol. 139, Iss. 1–4. P. 162–169. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2013.01.037>.
- Ozuna C., Cárcel J. A., Walde P. M., Garcia-Perez J. V. Low-temperature drying of salted cod (*Gadus morhua*) assisted by high power ultrasound: Kinetics and physical properties. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*. 2014. Vol. 23. P. 146–155. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2014.03.008>.
- Погонец В. И. Модернизация установки для сушки кальмара во взвешенно-закрученных потоках // Научные труды Дальрыбвтуза. 2016. Т. 37. С. 110–117. EDN: WJGRRD.
- Похольченко В. А., Мишанина Л. А., Ильин А. Ю., Глухих Я. А. Эффективная тепловая обработка в технологии горячего копчения рыбных продуктов. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, Volume 1052, International Conference on Production and Processing of Agricultural Raw Materials. 2022. DOI: <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1052/1/012083>.
- Похольченко В. А., Смирнова А. П., Глухих Я. А. Конвективная сушка в технологии рыбных чипсов. *KnE Life Sciences : International Applied Research Conference "Biological Resources Development and Environmental Management"*, P. 752–762. 2020. DOI: <https://doi.org/10.18502/cls.v5i1.6163>.

- Похольченко В. А., Ершов А. М., Ершов М. А. Особенности обобщения подобных явлений в процессах тепловой обработки рыбы // Вестник Воронежского государственного университета инженерных технологий. 2015. № 2(64). С. 44–50. EDN: UAOLNL.
- Shi Q.-L., Xue C.-H., Zhao Y., Li Z.-J. [et al.]. Optimization of processing parameters of horse mackerel (*Trachurus japonicus*) dried in a heat pump dehumidifier using response surface methodology. *Journal of Food Engineering*. 2008. Vol. 87, Iss. 1. P. 74–81. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2007.11.010>.
- Uribe E., Miranda M., Vega-Gálvez A., Quispe I. [et al.]. Mass transfer modelling during osmotic dehydration of jumbo squid (*Dosidicus gigas*): Influence of temperature on diffusion coefficients and kinetic parameters. *Food and Bioprocess Technology*. 2011. Vol. 4. P. 320–326. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11947-010-0336-2>.
- Valencia-Pérez A. Z., García-Morales M. H., Cárdenas-López J. L. [et al.]. Effect of thermal process on connective tissue from jumbo squid (*Dosidicus gigas*) mantle. *Food Chemistry*. 2008. Vol. 107, Iss. 4. P. 1371–1378. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2007.09.060>.
- Vega-Gálvez A., Andrés A., Gonzalez E., Nottle-Cuello E. [et al.]. Mathematical modelling on the drying process of yellow squat lobster (*Cervimunida johni*) fishery waste for animal feed. *Animal Feed Science and Technology*. 2009. Vol. 151, Iss. 3–4. P. 268–279. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2009.01.003>.
- Вороненко Б. А., Гусев Б. К., Пеленко В. В., Стариков В. В. Аналитическое решение задачи совместного тепло- и массопереноса в процессе горячей сушки мясных и рыбных продуктов // Вестник КРАСГАУ. 2009. № 9(36). С. 171–176. EDN: JVULES.
- Wang Y., Zhang M., Mujumdar A. S., Chen H. Drying and quality characteristics of shredded squid in an infrared-assisted convective dryer. *Drying Technology*. 2014. Vol. 32, Iss. 15. P. 1828–1839. DOI: <https://doi.org/10.1080/07373937.2014.952379>.
- Zhao C.-C., Jiang G.-H., Eun J.-B. Optimization of drying process for squid-laver snack by a combined method of fuzzy synthetic and response surface methodology. *Journal of Food Quality*. 2017. Article number: 9761356. DOI: <https://doi.org/10.1155/2017/9761356>.

Information about the authors

Vyacheslav A. Pokholchenko – 13 Sportivnaya Str., Murmansk, Russia, 183010;
Murmansk Arctic University, Cand. Sci. (Engineering);
e-mail: pokholchenkova@mstu.edu.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5847-5947>

Похольченко Вячеслав Александрович – ул. Спортивная 13, г. Мурманск, Россия, 183010;
Мурманский арктический университет, канд. техн. наук;
e-mail: pokholchenkova@mstu.edu.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5847-5947>

Alexander M. Ershov – Murmansk, Russia, 183010; Dr Sci. (Engineering), Professor, "Iceberg Nord" LLC;
e-mail: 3372025@gmail.com, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5154-7845>

Ершов Александр Михайлович – г. Мурманск, Россия, 183010; д-р техн. наук, профессор,
ООО "Айсберг Норд"; e-mail: 3372025@gmail.com, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5154-7845>

Yana A. Glukhikh – 13 Sportivnaya Str., Murmansk, Russia, 183010;
Murmansk Arctic University, Cand. Sci. (Philology), Associate Professor;
e-mail: glukhikhyaa@mstu.edu.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5511-891X>

Глухих Яна Александровна – ул. Спортивная 13, г. Мурманск, Россия, 183010;
Мурманский арктический университет, канд. филол. наук, доцент;
e-mail: glukhikhyaa@mstu.edu.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5511-891X>

Ludmila A. Mishanina – 13 Sportivnaya Str., Murmansk, Russia, 183010;
Murmansk Arctic University, Cand. Sci. (Biology);
e-mail: mishanina.la@mauniver.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7672-6439>

Мишанина Людмила Александровна – ул. Спортивная 13, г. Мурманск, Россия, 183010;
Мурманский арктический университет, канд. биол. наук;
e-mail: mishanina.la@mauniver.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7672-6439>

Требования к рукописи статьи

Общие требования

Оригинальность текста	В статьях допускается не более 20 % заимствованного текста из открытых источников.
Объем статьи	Максимальный объем статьи – 10 страниц (включая библиографический список).
Формат файла	Электронный вариант статьи выполняется в текстовом редакторе Microsoft Word и сохраняется с расширением *.doc, *.docx. В имени файла указывается фамилия и инициалы автора.
Параметры страницы	Формат А4. Поля: левое – 2,5 см, правое – 2,5 см, верхнее – 2,5 см, нижнее – 2,5 см.
Форматирование текста	Шрифт: Times New Roman. Размер шрифта – 10, абзацный отступ – 1,0, выравнивание по ширине. Межстрочный интервал – одинарный. Переносы слов не допускаются. Заголовки разделов помещают отдельной строкой через один межстрочный интервал после текста, печатают с прописной буквы. Шрифт полужирный, размер шрифта – 10, выравнивание по левому краю.

Требования к содержанию и оформлению структурных элементов рукописи

Индекс УДК	Индекс УДК помещают перед инициалами и фамилией автора отдельной строкой. Шрифт обычный, размер шрифта – 12, выравнивание по левому краю.
Автор (авторы)	Инициалы и фамилию автора(ов) на русском языке помещают после индекса УДК. Шрифт обычный, размер шрифта – 12, выравнивание по центру.
Заглавие	Заглавие помещают через один межстрочный интервал после инициалов и фамилии автора(ов), печатают с прописной буквы без точки в конце. Перевод инициалов, фамилии автора(ов) и заглавия на английский язык помещают соответственно после инициалов, фамилии авторов и заглавия на русском языке. Шрифт полужирный, размер шрифта – 12, выравнивание по центру.
Реферат	Рекомендуемый объем текста реферата 200–250 слов. Реферат на русском языке помещают через один межстрочный интервал после заглавия на английском языке. Перевод реферата на английский язык помещают через один межстрочный интервал после реферата на русском языке. Шрифт обычный, размер шрифта – 10, выравнивание по ширине.
Ключевые слова	Ключевые слова на русском языке помещают через один межстрочный интервал после аннотации на английском языке и разделяются запятой. Перевод ключевых слов на английский язык помещают на следующей строке после ключевых на русском языке. Шрифт обычный, размер шрифта – 8, выравнивание по левому краю.
Основной текст	Рекомендуемая структура основного текста статьи: введение, материалы и методы, результаты и обсуждение, заключение, благодарности. Иллюстрации и таблицы помещаются в тексте статьи по месту их первого упоминания. Иллюстрации, таблицы и формулы нумеруются арабскими цифрами сквозной нумерацией.
Библиографический список, библиографические ссылки	Библиографический список помещают через один межстрочный интервал после текста статьи. Перевод библиографического списка на английский язык помещают через один межстрочный интервал после библиографического списка на русском языке. Шрифт обычный, размер шрифта – 10, без абзацного отступа, выравнивание по ширине.
Сведения об авторе(ах)	Сведения об авторе(ах) помещают через один межстрочный интервал после библиографического списка. Фамилия Имя Отчество – шрифт полужирный, размер шрифта – 10. Почтовый адрес, наименование организации, ученая степень, звание, академический статус, должность, e-mail. Шрифт обычный, размер шрифта – 10, выравнивание по левому краю.

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 27, № 3 (июль – сентябрь) 2024 г.



9 771560 927007

Подписано в печать 24.09.2024
Дата выхода в свет 30.09.2024
Формат 60×84/8. Бумага типографская
Печать ризографическая
Усл. печ. л. 23.96. Тираж 500 экз. Заказ № 144.
Цена 2 000 р. 00 коп.

Адрес издателя:
ФГАОУ ВО «МАУ»
183010, г. Мурманск, ул. Спортивная, д. 13

Отпечатано в информационно-издательском центре МАУ :
183010, г. Мурманск, ул. Спортивная, д. 13