

ISSN 2712-7648

HEALTH, FOOD & BIOTECHNOLOGY

VOLUME 5 • ISSUE 2 • JULY 2023



HFB
HEALTH, FOOD & BIOTECHNOLOGY



№ 2 – 2023

Периодичность издания – 4 номера в год

Учредитель: Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Российский биотехнологический университет» (РОСБИОТЕХ)

Редакция

Заведующий редакцией — Тихонова
Елена Викторовна

Выпускающий редактор — Косычева
Марина Александровна

Редактор по этике — Косычева
Марина Александровна

Ответственный секретарь — Лаптева
Елена Александровна

Медийный редактор — Щербакова
Екатерина Олеговна

Журнал зарегистрирован в Федеральной службе по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций.
Свидетельство о регистрации средства массовой информации ЭЛ №ФС77-72959 от 25 мая 2018 г.

Адрес:

125080, г. Москва, Волоколамское шоссе, 11
Тел. +7 (499) 750-01-11*6585
E-mail: hfb@mgupp.ru
Официальный сайт учредителя: mgupp.ru
Официальный сайт редакции: hfb-mgupp.com

© ФГБОУ ВО «Российский биотехнологический университет» (РОСБИОТЕХ), 2023.

№ 2 – 2023

Periodicity of publication – 4 issues per year

Founder: Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «Russian Biotechnological University» (BIOTECH University)

Editorial Team

Head of Editorial Team — Elena V. Tikhonova

Editor of Issue — Marina A. Kosycheva

Ethics Editor — Marina A. Kosycheva

Executive Secretary — Elena A. Lapteva

Social Media and Product Editor — Ekaterina O. Shcherbakova

The Journal is registered by the Federal Service for Supervision in the Sphere of Communication, Information Technologies and Mass Media. The Mass Media Registration Certificate EL No FS77-72959 dated May 25, 2018.

Address::

11, Volokolamskoe shosse, Moscow, Russian Federation, 125080
Tel. +7 (499) 750-01-11*6585
E-mail: hfb@mgupp.ru
Official web site of Founder: mgupp.ru
Official web site of the Editorial Office: hfb-mgupp.com

© FSBEI HE «Russian Biotechnological University» (BIOTECH University) , 2023.

РЕДАКЦИОННЫЙ СОВЕТ

■ **ГЛАВНЫЙ РЕДАКТОР****Данильчук Татьяна Николаевна**

Российский биотехнологический университет (РОСБИОТЕХ), Россия

■ **ЧЛЕНЫ РЕДАКЦИОННОГО СОВЕТА****Абдуллаева Асият Мухтаровна**

Российский биотехнологический университет (РОСБИОТЕХ), Россия

Андреева Татьяна Ивановна

Институт пластмасс им. Г.С. Петрова, Россия

Бычков Алексей Леонидович

Институт химии твёрдого тела и механохимии СО РАН, Россия

Данильчук Татьяна Николаевна

Российский биотехнологический университет (РОСБИОТЕХ), Россия

Джавахян Марина Аркадьевна

Московский государственный медико-стоматологический университет им А.И. Евдокимова, Россия

Жилякова Елена Теодоровна

Белгородский государственный национальный исследовательский университет, Россия

Игнар Штефан

Варшавский университет естественных наук, Польша

Игнатенко Григорий Анатольевич

Донецкий национальный медицинский университет им. М. Горького, ДНР

Кирш Ирина Анатольевна

Российский биотехнологический университет (РОСБИОТЕХ), Россия

Коврига Владислав Витальевич

ООО «Группа «Полимертепло», Россия

Корокин Михаил Викторович

Белгородский национальный исследовательский университет, Россия

Куркин Денис Владимирович

Московский государственный медико-стоматологический университет им. А. И. Евдокимова, Россия

Маль Галина Сергеевна

Курский государственный медицинский университет, Россия

Налетов Андрей Васильевич

Донецкий национальный медицинский университет им. М. Горького, ДНР

Новиков Олег Олегович

Научно-образовательный ресурсный центр РУДН, Россия

Оковитый Сергей Владимирович

Санкт-Петербургский государственный химико-фармацевтический университет, Россия

Присный Андрей Андреевич

Белгородский государственный национальный исследовательский университет, Россия

Сагян Ашот Серобович

Национальная Академия наук РА, Республика Армения

Самбандам Ананадан

Национальный институт технологий, Индия

Северинов Константин Викторович

Институт молекулярной генетики НИЦ «Курчатовский институт», Россия

Серба Елена Михайловна

Всероссийский научно-исследовательский институт пищевой биотехнологии филиал Федерального государственного бюджетного учреждения науки Федеральный исследовательский центр питания, биотехнологии и безопасности пищи (ВНИИПБТ – филиал ФГБУН «ФИЦ питания и биотехнологии»), Россия

Симонов-Емельянов Игорь Дмитриевич

Российский технологический университет МИРЭА, Россия

Фриас Йезус

Дублинский технологический институт, Ирландия

Цыганова Татьяна Борисовна

Российский биотехнологический университет (РОСБИОТЕХ), Россия

Чалых Татьяна Ивановна

Российский экономический университет им. Г.В. Плеханова, Россия

Щетинин Михаил Павлович

Российский биотехнологический университет (РОСБИОТЕХ), Россия

EDITORIAL BOARD

EDITOR-IN-CHIEF**Tatyana N. Danilchuk**

Russian Biotechnological University (BIOTECH University)

MEMBERS OF THE EDITORIAL BOARD**Asiyat M. Abdullaeva**

Russian Biotechnological University (BIOTECH University), Russia

Tatyana I. Andreeva

G.S. Petrov Scientific Research Institute of Plastics, Russia

Aleksey L. Bychkov

Institute of Solid-State Chemistry and Mechanochemistry, Siberian Branch, Russian Academy of Sciences, Russia

Tatyana N. Danilchuk

Russian Biotechnological University (BIOTECH University), Russia

Marina A. Dzhevakhyan

A.I. Yevdokimov Moscow State University of Medicine and Dentistry, Russia

Elena T. Zhilyakova

Belgorod State University, Russia

Jesus Frias

Dublin Institute of Technology, Ireland

Stefan Ignar

Warsaw University of Life and Sciences, Poland

Grigory A. Ignatenko

Donetsk National Medical University, DPR

Irina A. Kirsh

Russian Biotechnological University (BIOTECH University), Russia

Mikhail V. Korokin

Belgorod State University, Russia

Vladislav V. Kovriga

Polymerteplo Group, Russia

Denis V. Kurkin

A.I. Yevdokimov Moscow State University of Medicine and Dentistry, Russia

Galina S. Mal

Kursk State Medical University, Russia

Andrey V. Nalyotov

Donetsk National Medical University, DPR

Oleg O. Novikov

RUDN University Shared Research and Educational Centre, Russia

Sergey V. Okovityi

Saint-Petersburg State Chemical and Pharmaceutical University, Russia

Andrey A. Prisnyi

Belgorod State University, Russia

Ashot S. Saghyan

National Academy of Sciences of the Republic of Armenia, Armenia

Anandan Sambandam

National Institute of Technology of Tiruchirappalli, India

Elena M. SerbaAll-Russian Research Institute of Food Biotechnology, Federal Research **Center for Nutrition**, Biotechnology and Food Safety, Russia**Konstantin V. Severinov**

Institute of Gene Biology Russian Academy of Sciences, Russia

Igor D. Simonov-Emelyanov

MIREA-Russian Technological University, Russia

Mikhail P. Schetinin

Russian Biotechnological University (BIOTECH University), Russia

Tatyana I. Tchalykh

Russian University of Economics named after G. V. Plekhanov, Russia

Tatyana B. Tsyganova

Russian Biotechnological University (BIOTECH University), Russia

СОДЕРЖАНИЕ

РЕДАКТОРСКАЯ СТАТЬЯ

Т. Н. Данильчук
Десятилетие науки и технологий: Тенденции развития научных школ Института прикладной биотехнологии
имени академика РАН И.А. Рогова университета РОСБИОТЕХ 6

БИОТЕХНОЛОГИИ

Р. А. Иксанов, А. В. Канарский, З. А. Канарская, В. М. Гематдинова
Влияние хлорида натрия на рост биомассы и синтез белковых веществ
при культивировании микроводорослей *Dunaliella salina* на питательной среде
из свекловичной мелассы 17

И. А. Кирш, И. С. Тверитникова, В. В. Баталова
Исследование возможности использования биоразлагаемых целлюлозосодержащих материалов
на основе мискантуса в качестве одноразовой посуды и упаковки пищевых продуктов 28

Т. Н. Данильчук, Д. Е. Ипатов
Комплексная технология получения сырокопченых изделий пролонгированного срока хранения с пониженной кон-
центрацией нитрита натрия 39

А. В. Югай
Актуальность использования рыбных белковых гидролизатов в технологии пищевых продуктов..... 51

CONTENTS

EDITORIAL

Tatyana N. Danilchuk

Decade of Science and Technology: Trends in the Development of Scientific Schools at the Institute of Applied Biotechnology Named after Academician of the Russian Academy of Sciences I.A. Rogov (BIOTECH University)	7
--	---

BIOTECHNOLOGY

Rishat A. Iksanov, Albert V. Kanarsky, Zosya A. Kanarskay, Venera M. Gematdinova

The Effect of Sodium Chloride on Biomass Growth and Protein Synthesis during Cultivation of <i>Dunaliella salina</i> Microalgae on a Nutrient Medium from Beet Molasses	18
---	----

Irina A. Kirsh, Izabella S. Tveritnikova, Valentina V. Batalova

Feasibility Study of Biodegradable Cellulose-Containing Materials Based on Miscanthus as Disposable Tableware and Food Packaging	29
--	----

Tatiana N. Danilchuk, Dmitry E. Ipatov

Complex Technology for the Production of Smoked Products of Prolonged Shelf Life with a Reduced Concentration of Sodium Nitrite	40
---	----

Alevtina V. Yugay

Fish Protein Hydrolysates: Relevance of Their Use in Food Technology	52
--	----

<https://doi.org/10.36107/hfb.2023.i2.s181>

УДК 606:664

Десятилетие науки и технологий: Тенденции развития научных школ Института прикладной биотехнологии имени академика РАН И.А. Рогова университета РОСБИОТЕХ

Т. Н. Данильчук

Российский биотехнологический
университет (РОСБИОТЕХ),
Москва, Россия

Корреспонденция:

Данильчук Татьяна Николаевна,
Российский биотехнологический
университет (РОСБИОТЕХ), 125080,
Россия, Москва, Волоколамское шоссе, 11
E-mail: danilchuktn@mgupp.ru

Конфликт интересов:

автор сообщает об отсутствии
конфликта интересов.

Поступила: 29.09.2023

Поступила после

рецензирования: 29.09.2023

Принята: 30.09.2023

Copyright: © 2023 Автор

АННОТАЦИЯ

Изложена история формирования и развития научных школ в Институте прикладной биотехнологии имени академика РАН И.А. Рогова. Описаны основные направления фундаментальных и прикладных исследований структурных подразделений института. Приведены примеры реализации этих исследований в стартапах студентов. Предложен проект развития научной деятельности института в рамках программы Приоритет-2030.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА

научные школы, пищевые производства



Для цитирования: Данильчук, Т. Н. (2023). Десятилетие науки и технологий: Тенденции развития научных школ Института прикладной биотехнологии имени академика РАН И.А. Рогова университета РОСБИОТЕХ. *Health, Food & Biotechnology*, 5(2), 6-16. <https://doi.org/10.36107/hfb.2023.i2.s181>

<https://doi.org/10.36107/hfb.2023.i2.s181>

Decade of Science and Technology: Trends in the Development of Scientific Schools at the Institute of Applied Biotechnology Named after Academician of the Russian Academy of Sciences I.A. Rogov (BIOTECH University)

Tatyana N. Danilchuk

Russian Biotechnological University
(BIOTECH University), Moscow, Russia

Correspondence:

Tatyana N. Danilchuk,
Russian Biotechnological University,
11, Volokolamskoe highway,
Moscow, 125080, Russia
E-mail: danilchuktn@mgupp.ru

Declaration of competing interest:
none declared.

Received: 29.09.2023

Received in revised form: 29.09.2023

Accepted: 30.09.2023

Copyright: © 2023 The Author

ABSTRACT

The editorial describes the history of development of scientific schools at the Institute of Applied Biotechnology named after Academician of the Russian Academy of Sciences I.A. Rogov. Also, the study defines the main directions of fundamental and applied research of the structural divisions of the Institute; in addition, it gives the examples of the implementation of these studies in student startups. A project for the development of scientific activities of the Institute within the framework of the Priority-2030 program is proposed.

KEYWORDS

scientific schools, food production



To cite: Danilchuk, T. N. (2023). Decade of Science and Technology: Trends in the Development of Scientific Schools at the Institute of Applied Biotechnology named after Academician of the Russian Academy of Sciences I.A. Rogov (BIOTECH University). *Health, Food & Biotechnology*, 5(2), 6-16. <https://doi.org/10.36107/hfb.2023.i2.s181>

ВВЕДЕНИЕ

Институт прикладной биотехнологии имени академика РАН И. А. Рогова (ИПБ) получил свое название в 2019 г. в честь 90-летия академика Рогова. До этого институт носил название «Институт биотехнологии и высокотехнологичных пищевых производств», который был создан в 2011 г. после объединения двух университетов — Московского государственного Университета прикладной биотехнологии (МГУПБ) и Московского государственного Университета пищевых производств (МГУПП) под общим названием ФГБОУ ВО «Московский государственный Университет пищевых производств» (МГУПП). В 2022г. после присоединения к МГУПП Пушкинского государственного естественно-научного института университет получил название Российский биотехнологический университет («РОСБИОТЕХ»). ИПБ является наследником и продолжателем достижений МГУПБ, которые были заложены исследованиями известных в пищевой отрасли ученых — Соколовым А.А., Большаковым А.С., Иниховым Г.С., Дьяченко П.Ф., Христодуло Д.А., Роговым И.А., Журавской Н.К., Горбатовым А.В., Граниковым Д.А., Сурковым В.Д., Шалыгиной А.М., Комоловой Г.С., Макаровым Н.В. и др. Их заслуги отмечены правительственными наградами и министерскими грамотами. В течение многих лет МГУПБ возглавлял академик И.А. Рогов, создавший свою научную школу, чей статус был поддержан Советом по грантам при Президенте РФ. Высокий уровень фундаментальных и прикладных исследований продолжили в своих трудах Липатов Н.Н. (мл.), Каухчешвили Э.И., Титов Е.И., Лисицын А.Б., Ковалев Ю.И., Токаев Э.С., Дунченко Н.И., Тихомирова Н.А., Ганина В.И., Казюлин Г.П., Семенов Г.В., Габараев А.Н., Бабакин С.Н., Николаев Н.С., Венгер К.П., Митасева Л.Ф., Забашта А.Г. Их ученики продолжают плодотворно работать, развивая науку о пищевых системах с учетом современных вызовов и потребностей АПК РФ.

История формирования и развития научных школ в Институте прикладной биотехнологии имени академика РАН И.А. Рогова

Деятельность профессоров А.А. Соколова, Д.А. Христодуло, А.С. Большакова, Д.А. Граникова, Н.К. Журавской, В.Д. Суркова, Шалыгиной А.М. создала фундамент научных школ в области мясных и молочных технологий. Соколов А.А. написал учебники, которые до сих пор являются актуальными для технологии мясных производств. Христодуло Д.А. заложил научные и практические основы холодильного консервирования пищевых продуктов. Большаков А.С. заложил основы учения о посоле мяса и мясных продуктов, основы учения о роли

электромеханических воздействий при переработке мясного сырья. Граников Д.А. разработал технологию знаменитого сыра «Советский». Журавская Н.К. сформировала научные основы использования технологии сублимационной сушки в пищевой промышленности. Сурков В.Д. сформировал научные основы теории маслообразования, Шалыгина А.М. разработала технологию сыра «Буковинский».

В нашей стране и за рубежом широко известна научная школа академика РАН И.А. Рогова, создавшего новое направление в области пищевых технологий — электрофизические методы обработки пищевых продуктов¹. Рогов И.А. был в авангарде исследований по разработке технологии получения мяса *in vitro* (клеточное мясо) (Рогов, 2012, 2013). Научные труды И.А. Рогова и его учеников посвящены фундаментальным и прикладным вопросам в области биотехнологии, химии пищи, биологической безопасности пищевых продуктов животного происхождения, здорового питания. В настоящее время научные основы, заложенные И.А. Роговым, получили новый виток развития. Электрофизические воздействия достаточно широко освещаются в научной литературе как факторы интенсификации физико-химических и биохимических процессов с участием живых систем. В ИПБ в настоящее время развивается направление, связанное с использованием физических факторов низкой интенсивности для управления жизнедеятельностью живых систем, используемых в мясных и молочных технологиях (Данильчук, 2019; Danilchuk, 2021). Создание культурального мяса *in vitro*, основанное на методах клеточной инженерии, осуществляется в трехмерном пространстве, для чего разрабатываются различные матрицы на синтетической и белковой основе.

Научная школа академика И.А. Рогова подтверждена грантами Президента РФ: в 2010–2011 гг. — грант Президента РФ по поддержке ведущих научных школ 02.120.11.3188-НШ «Управление качеством и безопасностью пищевого сырья с использованием химических и нетрадиционных физических принципов его обработки в ресурсосберегающих технологиях производства пищевых продуктов»; в 2012–2013 гг. — грант Президента РФ по поддержке ведущих научных школ НШ-3245.2012.4 «Разработка новых пищевых технологий с участием живых систем на основе нетрадиционных подходов к управлению их жизнедеятельностью и обеспечению качественных показателей готовой продукции»; в 2014–2015 гг. — грант Президента РФ по поддержке ведущих научных школ НШ-5543.2014.4 «Расширение альтернативных источников пищевого и лекарственного сырья на основе клеточных технологий, биотехнологий и нетрадиционных способов управления жизнедеятельно-

¹ Рогов, И.А. Электрофизические методы обработки пищевых продуктов. — М.: Агропроиздат, 1988. — 272 с.

стью живых систем». В 1971 г. по инициативе Рогова И.А. была создана лаборатория электрофизических методов обработки пищевых продуктов, научным руководителем которой И.А. Рогов был более 40 лет. За научные достижения творческим коллективам ученых присуждены две Государственные премии РФ и две премии Правительства РФ в области науки и техники. Одна из них — Государственная премия РФ в области науки и техники, была присуждена в 1999 г. коллективу в составе Рогов И. А, Токаев Э.С., Липатов Н.Н. (мл.), Лисицын А.Б., Титов Е.И., Ковалев Ю.И., Митасева Л.Ф. за разработку научных и технологических основ проектирования пищи, создание и освоение нового поколения продуктов общего, профилактического и лечебного питания.

Ученики И.А. Рогова, академики РАН Титов Е.И. и Лисицын А.Б. в настоящее время развивают свои научные школы, поддерживаемые Советом по грантам при Президенте РФ.

Липатов Н.Н. (мл.), академик РАСХН, был известным ученым в области автоматизации технологических процессов мясной и молочной промышленности, повышения качества мясной и молочной продукции, разработки новых видов детского питания. Ковалев Ю.И., генеральный директор Национального Союза свиноводов России, активно поддерживает ИПБ в модернизации материально-технической базы. Токаев Э.С. является крупным специалистом в области создания детских продуктов и продуктов для спортивного питания. Митасева Л.Ф. долгое время плодотворно работала в лаборатории электрофизических методов обработки пищевых продуктов в направлении создания ресурсосберегающих технологий производства новых мясных продуктов.

В результате проведенных под руководством И.А. Рогова научно-исследовательских работ спроектировано свыше 250 новых видов продуктов питания профилактического, специального и функционального назначения, в том числе продуктов детского питания, с последующим их производством на 360 предприятиях пищевой промышленности. Результаты научной деятельности И.А. Рогова нашли отражение более чем в 600 опубликованных трудах, в том числе в 52 монографиях, учебниках и учебных пособиях, широко известных как у нас в стране, так и за рубежом, получено около 250 авторских свидетельств и патентов. Под его руководством были подготовлены 25 докторов и 75 кандидатов наук. Многие его ученики, среди которых — академики и члены-корреспонденты РАН, 12 лауреатов Государственных премий СССР и РФ, 3 лауреата Премии Правительства РФ, успешно работают в научных и учебных заведениях

и на предприятиях отрасли не только в России, но и за ее пределами.

Научная школа академика РАН Е.И. Титова (НШ — 5834.2014.4) «Формирование функциональной направленности пищевых продуктов для различных групп населения на основе животного и растительного сырья с использованием биопрепаратов и биологически активных веществ» успешно работает над созданием поликомпонентных и специализированных продуктов на основе мясного сырья для различных групп населения, а также ферментированных мясных продуктов, развивая биотехнологические подходы к совершенствованию и разработке высокоэффективных технологий (Bobreneva, 2021; Литвинова, 2021, 2022, 2023).

По результатам работы научной школы Е.И. Титова были получены Гранты Президента РФ по поддержке молодых ученых:

- МК-6306.2018.11 «Создание специализированных мясных и рыбных продуктов питания пролонгированных сроков годности с использованием модулей с заданным составом и свойствами» (научный руководитель — доц. Е.В. Литвинова);
- МК-1813.2020.11 «Создание функциональных мясных продуктов питания длительного хранения, в том числе сублимированных, обогащенных биологически активными белками и пептидами, выделенными из крови убойных животных и молока» (Научный руководитель — доц. Е.В. Литвинова).

В ИПБ продолжают научные практико-ориентированные исследования в области сублимационной сушки, начатые Н.К. Журавской. Это направление возглавляет профессор Г.В. Семенов². В рамках направления разрабатываются технологии вакуумной сублимационной сушки широкого ассортимента пищевых продуктов и сырья для их приготовления, в том числе функциональных продуктов питания для конкретных групп населения с учетом физических нагрузок, пола, возраста, места проживания (Краснова, 2022, 2023); проводятся комплексные исследования по режимам замораживания различных видов материалов и по оптимизации процессов влагоудаления, а также оценка качества сублимированных продуктов питания во взаимосвязи с технологией сушки, упаковки и сроков хранения. В 2022 г. ученые ФГБОУ ВО «РОСБИОТЕХ» — Г.В. Семенов, Петров А.Н., Стрелюхина А.Н., Краснова И.С. стали лауреатами Премии Правительства Российской Федерации в области науки и техники за создание и внедрение высокоэффективных технологий и оборудования для переработки и хранения сельскохозяйственного сырья, систем контроля и управления качеством пище-

² Семенов, Г.В. Сублимационная сушка пищевых продуктов. — М.: ДеЛи-плюс, 2018. — 292 с.

вой продукции, обеспечивающей здоровье нации, импортозамещение и продовольственную безопасность России.

В ИПБ продолжают исследования по получению биологически активных веществ и пептидов из молока, начатые в рамках научной школы И.А. Рогова (акад. РАН И.А. Рогов, акад. РАН Е.И. Титов, проф. Н.А. Тихомирова, проф. Г.С. Комолова) (Ионова, 2022); исследования по совершенствованию технологии сыров и разработке новых видов сыров, начатые Д.А. Граниковым и А.М. Шалыгиной (Ионова, 2021; Волокитина, 2022; Морозова, 2021, 2023; Щетинин, 2023); исследования по совершенствованию технологии творога и кисломолочных продуктов. Продолжаются исследования в области технической и отраслевой микробиологии, разработки продуктов и препаратов функционального питания, изучения явления бактериофагии и мониторинга бактериофагов в промышленности, которые развивались в ИПБ под руководством проф. В.И. Ганиной (Ганина, 2021). В настоящее время в области молочных технологий ученые ИПБ разрабатывают продукты общего и функционального назначения на основе биомодификации сырья животного, растительного, а также вторичного и нетрадиционного происхождения (Ионова, 2022; Данильчук 2022), молочные продукты функциональной направленности (Творогова, 2021; Морозова, 2021, 2023; Ионова, 2023); закваски, обладающие комплексом полезных биотехнологических свойств для производства кисломолочных продуктов; низколактозные и безлактозные молочные продукты (Творогова, 2021; Галаткина, 2023; Лидиховская, 2023).

Цель данной работы — изложить основные достижения Института прикладной биотехнологии имени академика РАН И.А. Рогова в области фундаментальной и прикладной науки, представляющие собой результат успешного развития научных школ.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Объекты исследования

Объектами исследования являлись структурные подразделения Института прикладной биотехнологии имени академика РАН И.А. Рогова, научные направления института, результаты научно-исследовательской работы студентов. Использовались материалы теоретических и научно-технологических разработок, опубликованные в рецензируемых отечественных и зарубежных изданиях.

Методы исследования

Использовались методы эмпирического (наблюдение, сравнение) и теоретического (анализ, синтез) исследования при работе с историческим материалом, материалами опубликованных научных трудов, а также метод обобщения при формулировании основных тенденций развития научных школ в Институте прикладной биотехнологии имени академика РАН И.А. Рогова

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

В настоящее время в составе Института прикладной биотехнологии имени академика РАН И.А. Рогова осуществляют свою деятельность кафедры «Технологии и биотехнологии мяса и мясных продуктов», «Технология молока, пробиотических молочных продуктов и сыроделия», «Биотехнологии молока», «Инженерия процессов, аппаратов, холодильной техники и технологий», «Химия и экотоксикология», научно-исследовательская лаборатория «Биотехнологии мясных систем и новых продуктов питания», а также Экспериментально-производственный центр сыроделия и Экспериментально-производственный центр биологических экстрактов. Для развития научных школ академика И.А. Рогова и академика Е.И. Титова в 2020г. был создан Научно-образовательный центр (далее НОЦ) «Биотехнологии продуктов питания животного происхождения», в состав которого вошли кафедры «Технологии и биотехнологии мяса и мясных продуктов», «Технология молока, пробиотических молочных продуктов и сыроделия», «Биотехнологии молока» и Экспериментально-производственный центр сыроделия. В структурных подразделениях НОЦ работают ученики и последователи выдающихся ученых-основоположников науки о мясе и молоке. Научным руководителем НОЦ является академик РАН Е.И. Титов.

В 2023 г. в рамках реализации в ФГБОУ ВО «РОСБИОТЕХ» программы «Приоритет– 2030» проведена реорганизация НОЦ. На основе научных направлений, ранее реализуемых в созданной Роговым И.А. лаборатории электрофизических методов обработки пищевых продуктов, разработан проект развития научной деятельности института в рамках программы Приоритет-2030, проведена реорганизация исследовательских лабораторий. В настоящее время в состав НОЦ входят следующие лаборатории:

Лаборатория электрофизических методов обработки пищевых продуктов. Основные задачи:

- совершенствование известных технологий тепловой обработки пищевых продуктов с использованием электромагнитных полей СВЧ и ИК диапазона;

- разработка инновационных методов интенсификации биохимических процессов в живых системах на основе воздействия крайне низких доз физических факторов различной природы (электроконтактная, акустическая, СВЧ обработка);
- проведение исследований по выявлению наиболее благоприятных режимов электрофизических воздействий для интенсификации биологических и биохимических процессов в различных пищевых технологиях, использующих живые системы;
- проведение исследований по созданию инновационных способов переработки пищевого сырья на основе электрофизических методов для создания новых продуктов питания, том числе функциональной направленности;
- взаимодействие с предприятиями в вопросах внедрения результатов научно-исследовательской деятельности лаборатории в пищевые технологии.

Лаборатория R&D продуктов питания нового поколения. Основные задачи:

- испытание биологически активных веществ из сырья животного происхождения;
- криоконсервирование материала
- разработка и совершенствование технологий воспроизводства ценных биообъектов;
- установление оптимальных условий переваривания компонентов пищи методами «in vitro» для разработки подходов к заместительной терапии;
- поиск и разработка новых технологий продуктов питания, в том числе детских, спортивных, лечебно-профилактических, геродиетических, с применением современных методов переработки пищевого сырья (в том числе вторичного) животного и растительного происхождения;
- исследование физико-химических, структурно-механических, теплофизических, органолептических и других свойств сырья и готовой продукции животного и растительного происхождения;
- разработка способов модификации низкосортного сырья животного и растительного происхождения в рамках реализации программы ресурсосбережения;
- разработка многофункциональных модулей широкого спектра свойств, опираясь на принципы пищевой комбинаторики;
- теория и практика производства оригинальных, комбинированных, аналоговых, функциональных и специализированных пищевых продуктов.

Лаборатория квалитетрии. Основные задачи:

- проведение исследований сырья и продуктов питания в соответствии с программой производственного контроля;
- проведение исследований состава побочного сырья при производстве пищевых продуктов в соответствии с программой экологического контроля;

- мониторинг достоверности результатов исследований;
- установление сроков годности и продления сроков хранения;
- органолептическая оценка сырья, вспомогательных материалов и готовой продукции;
- использование современных (международных) методов для оценки свойств мясной продукции (описательных, различительных, потребительских и инструментальных);
- создание подходов и разработка способов оценки конкурентоспособности продукции пищевой промышленности с учетом потребительских предпочтений.

Лаборатория биоактивных веществ и здоровьесберегающих технологий. Основные задачи:

- создание экологически безопасных ресурсосберегающих процессов и технологий, аппаратных схем и оборудования для производства молочной продукции, на основе глубокой переработки сырья, в том числе с привлечением ферментативного гидролиза, ионообменных процессов с целью максимального использования сырьевых ресурсов;
- исследования по созданию новых видов молочных продуктов на основе молочного белка;
- поиск новых нетрадиционных источников белка с целью снижения его дефицита в питании человека;
- исследование и разработка технологий производства молочно-белковых и сывороточных концентратов и продуктов их гидролиза;
- разработка технологий новых молочных и молоко-содержащих продуктов профилактической направленности, обогащенных функциональными пищевыми ингредиентами и биокультурами с заданными свойствами;
- разработка кормов для молодняка сельскохозяйственных животных.

Лаборатория коллекционных штаммов микроорганизмов. Основные задачи:

- изучение разнообразия, метаболизма и биогеохимической деятельности микроорганизмов различных мест обитания с анализом рибосомальных генов и генов, кодирующих ключевые ферменты, или полного генома;
- выявление и описание новых штаммов клеточных культур;
- поддержание и пополнение коллекций штаммов, обладающих биотехнологическим потенциалом для получения высокостабильных ферментов и широкого спектра биологически активных веществ, использования в производстве пищевых продуктов;
- изучение форм длительного выживания и механизмов адаптации бактерий к экстремальным условиям;

- оптимизация способов хранения микробных культур (в том числе, за счет перевода в покоящееся состояние) и разработка приемов реактивации клеток, утративших способность к прорастанию;
- изучение ультраструктурных характеристик клеток новых изолятов и длительно выживающих форм.

В ИПБ традиционно на высоком научном уровне на кафедре «Инженерия процессов, аппаратов, холодильной техники и технологий» проводятся исследования инновационных технологических систем и технологических процессов пищевых производств, проводится разработка энергосберегающего теплотехнического оборудования, экологически безопасной энергоресурсосберегающей холодильной техники и технологии (Бабакин, 2022; Николаев, 2022; Плешешник, 2023; Рындин, 2021). Ведущими учеными в этой области являются проф. Б.С. Бабакин, проф. Н.С. Николаев, проф. А.Н. Стрелюхина.

Весьма актуальны в настоящее время вопросы экологии в пищевой индустрии. Кафедра «Химия и экотоксикология» под руководством проф. Роевой Н.Н. проводит научно-исследовательскую работу по изучению биогеохимических свойств токсикантов и форм их нахождения в природных экосистемах, моделированию экологических процессов в окружающей среде (Роева 2021, 2022; Kornilov, 2021) разрабатывает подходы к экотоксикологической оценке качества продовольственного сырья и продуктов питания с использованием современных инструментальных методов анализа (Роева, 2022; Куликова 2023; Чернобровина 2023).

Результаты научно-исследовательской работы кафедр и центров ИПБ нашли свое отражение в темах стартапов студентов:

- Создание молочно-растительных супов-пюре функциональной направленности с добавками препаратов из проростков растений в упаковке, обеспечивающей пролонгирование сроков хранения.
- Создание сметанного продукта функциональной направленности с разработкой камер холодильной

обработки в условиях термостатирования и сравнительным анализом санитарно-микробиологических показателей.

- Разработка и доклинические испытания функционального поликомпонентного продукта на молочной основе для питания киберспортсменов.
- Создание сублимированного мясосодержащего продукта с топпингами на растительной основе с пролонгированным сроком хранения для питания населения в чрезвычайных ситуациях.
- Разработка функциональных продуктов на основе ферментированного нута.
- Технологические решения использования белоксодержащих продуктов гороха для расширения линейки аналоговых продуктов животного происхождения.
- Разработка и клинические испытания продуктов для энтерального питания плотоядных животных.
- Разработка заменителя материнского молока для котят и щенков.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Образовательная и исследовательская деятельность Института прикладной биотехнологии имени академика РАН И.А. Рогова (ИПБ) РОСБИОТЕХа основана на достижениях научных школ, признанных как в России, так и за рубежом. Научные школы развиваются, накапливаются новые знания, как в фундаментальной, так и в прикладной науке. Это позволяет широко вовлекать студентов в научно-исследовательскую работу, проводить подготовку высококвалифицированных специалистов для мясной и молочной отрасли, а также в области холодильной и криогенной техники и технологий. Выпускники ИПБ способны эффективно работать на пищевых предприятиях, в научно-исследовательских институтах и в смежных отраслях. Это полностью соответствует задачам комплекса инициатив «Десятилетие науки» в части усиления роли науки и технологий в решении важнейших задач развития общества и страны, привлечения молодежи в сферу исследований и разработок.

ЛИТЕРАТУРА

- Бабакин, Б. С., Белозеров, Г. А., Петров, В. В., & Пытченко, В. П. (2022). Исследование температурных полей в камере распределительного холодильника и холодильной витрине. *Всё о мясе*, (2), 14–17. <http://doi.org/10.21323/2071-2499-2022-2-40-43>
- Бабакин, Б. С., Петров, В. В., Бабакин, С. Б., & Белозеров, Г.А. (2022). Исследование теплообмена в вертикальной холодильной витрине. *Вестник Международной Академии Холода*, (1), 106–107.
- Волокитина, З. В., & Сычев, К. В. (2022). Потребительское качество сыров торговой марки «Куршавальские сыры», *Управление качеством*, (1), 24–27.
- Ганина, В. И., Ионова, И. И., & Казакова, К. Н. (2021). Тенденции рынка заквасок. *Молочная промышленность*, (3), 40–43.

- Галяткина, М. П., & Творогова, А. А. (2023). Разработка технологии низколактозного мороженого пломбир с использованием метода ферментативного гидролиза. *Переработка молока*, 7(285), 24–26.
- Ганина, В. И., Машенцева, Н. Г., & Ионова, И. И. (2022). Исследование бактериофагов, лизирующих молочнокислые бактерии. *Техника и технология пищевых производств*, 52(2), 361–374. <http://doi.org/10.21603/2074-9414-2022-2-2371>
- Данильчук, Т. Н., Абдрашитова, Г. Г., Русалиева, Д. А., & Григорьева, С. А. (2019). Нетрадиционные подходы к переработке мяса птицы. *Хранение и переработка сельхозсырья*, (1), 35–46.
- Данильчук, Т. Н., Новосад, Ю. Г., & Сидорова, Е. С. (2022). Антиоксидантная активность молочной сыворотки. *Пищевая промышленность*, (3), 39–42.
- Данильчук, Т.Н., Новосад, Ю.Г., & Бережная, Е.А. (2022). Инновационные продукты на основе сливок с антиоксидантной активностью и гепатопротекторными свойствами. *Health, Food, & Biotechnology*, 4(2), 48–58. <https://doi.org/10.36107/hfb.2022.i2.s136>
- Ионова, И. И., & Тихомирова, Н. А. (2021). Разработка и оценка потребительских свойств сырного плавленого продукта, обогащенного йодом. *Сыроделие и маслоделие*, (3), 26–28
- Ионова, И. И., Юрасов, А. О., & Тихомирова, Н. А. (2022). Перспективные ресурсосберегающие технологии минорных белковых компонентов из молочной сыворотки. *Переработка молока*, 7(273), 32–34.
- Ионова, И. И., Нгуен, Б. Т., & Тихомирова, Н. А. (2023). Технология низколактозного кисломолочного продукта с пюре папайи. *Молочная промышленность*, (2), 48–50.
- Ионова, И. И., Юрасов, А. О., & Тихомирова, Н. А. (2023). Ресурсы сыворотки и основные направления ее переработки. *Переработка молока*, 6(284), 16–18.
- Корнилов, К. Н., & Роева, Н. Н. (2021). Определение эмиссии частиц из микропластика при заваривании. *Health, Food & Biotechnology*, 3(3), 25–32. <https://doi.org/10.36107/hfb.2021.i3.s113>
- Краснова, А. С., Семенов, Г. В., & Гучок, Ж. Л. (2022). Кисломолочные сублимированные продукты питания для населения, работающего в условиях крайнего севера. *Российская Арктика*, 19, 61–67.
- Краснова, И. С., Ганина, В. И., Семенов, Г. В., Ионова, И. И., & Гучок, Ж. Л. (2023). Обоснование сроков годности кисломолочных сублимированных продуктов. *Молочная промышленность*, (3), 46–48.
- Куликова, Н. Е., Чернобровина, А. Г., Роева, Н. Н., & Попова, О. Ю. (2023). Разработка экспрессной методики определения общего сахара в диабетических кондитерских изделиях. *Аналитика*, 13(1), 60–65.
- Ландиховская, А. В., Волокитина, З. В., Краснова, И. С., & Кочнева, С. Е. (2023). Использование сухого козьего молока в производстве мороженого. *Молочная промышленность*, (1), 24–25.
- Литвинова, Е. В., Кидяев, С. Н., & Лапшина, В. Л. (2023). Расширяем линейку продуктов питания сегмента ЗОЖ сублимированными мясными meatballs. *Мясные технологии*, 10(250), 50–55.
- Литвинова, Е. В., Кидяев, С. Н., & Лапшина, В. Л. (2021). Биологически активные вещества крови убойных животных — перспективное векторное направление в мясной отрасли. *Вестник ВГУИТ*, 83(2), 72–78.
- Литвинова, Е. В., & Кидяев, С. Н. (2021). Проблемы модификации биополимеров природного происхождения. *Мясные технологии*, 9(225), 56–59.
- Литвинова, Е. В., Кидяев, С. Н., & Титов, Е. И. (2022). Новые данные об использовании побочного коллагенсодержащего сырья мясной отрасли. *Мясная индустрия*, (12), 38–42.
- Литвинова, Е. В. (2022). О возможности использования топленого австралийского говяжьего жира в технологии мясных продуктов длительного хранения. *Оригинальные исследования*, 12(1), 57–64
- Литвинова, Е. В. (2022). Технологические решения использования горохового изолята для расширения линейки аналоговых продуктов животного происхождения. *Мясные технологии*, 11(239), 11–20.
- Литвинова, Е. В., Кидяев, С. Н., Лапшина, В. Л., & Никитин, В. В. (2022). Сравнительная оценка способов термической обработки мяса цесарки. *Health, Food & Biotechnology*, 4(3), 28–40. <https://doi.org/10.36107/hfb.2022.i3.s150>
- Морозова, В. В., Каткова Н. Н., & Коломыцева О. Ф. (2021). Разработка сливочного масла из обезвоженного молочного жира с экстрактом шиповника. *Сыроделие и маслоделие*, (5), 28–30
- Морозова, В. В., Сидорова, Е. С., & Литвиненко, И. А. (2021). Разработка технологии нового функционального продукта. *Переработка молока*, (9), 70–73.
- Морозова, В. В., Муханова, И. В., & Сидорова, Е. С. (2023). Разработка полутвердого сыра с растительной добавкой функционального назначения. *Переработка молока*, 1(279), 46–49.
- Морозова, В. В., Маширова, А. Г., & Коломыцева, О. Ф. (2023). Использование ДКВ в производстве масла из обезвоженного молочного жира. *Переработка молока*, 2(280), 54–56.
- Никитин, В. В., Титов, Е. И., & Литвинова, Е. В. (2022). О возможности использования продуктов переработки амаранта в мясных системах. *Health, Food & Biotechnology*, 2(3), 67–77. <https://doi.org/10.36107/hfb.2020.i3.s93>

- Николаев, Н. С., Корниенко, В. Н., & Королев, И. А. (2022). Рациональный подход к выбору энергоэффективной тепловой изоляции хладопроводов. *Все о мясе*, (1), 16–21. <https://doi.org/10.21323/2071-2499-2022-1-16-21>
- Николаев, Н. С., & Корниенко, В. Н. (2022). Энергоаудит охлаждаемых объектов предприятий мясной промышленности. *Мясная индустрия*, (4), 45–49.
- Николаев, Н. С., Пляшешник, П. И., & Корниенко, В. Н. (2023). Методология энергосбережения: универсальная основа стратегического развития предприятий. *Мясная индустрия*, (4), 37–42.
- Рогов, И. А., & Волкова, И. М. (2012). Способ выращивания мяса *in vitro*. Обзор. *Биозащита и биобезопасность*, 3(12), 26–32.
- Рогов, И. А., & Волкова, И. М., Кулешов, И. П., & Савченкова, К. В. (2012). Дифференцировка мультипотентных мезенхимных стволовых клеток, выделенных из костного мозга и жировой ткани крупного рогатого скота, в клетки мышечной ткани *in vitro* *Сельскохозяйственная биология*, (6), 66–72.
- Роева, Н. Н., Воронич, С. С., & Зайцева, И. А. (2021). Атомно-абсорбционное определение алюминия, бария, бериллия и ванадия в атмосферном воздухе урбанизированных и фоновых территорий. *Экологические системы и приборы*, (2), 6–10. <https://doi.org/10.25791/esip.02.2021.1208>
- Роева, Н. Н., & Воронич, С. С. (2021). О современных передвижных средствах контроля атмосферных загрязнений на локальных урбанизированных территориях. *Экологические системы и приборы*, (5), 3–10. <https://doi.org/10.25791/esip.05.2021.1224>
- Роева, Н. Н., Воронич, С. С., Зайцев, Д. А., Зачернюк, Б. А., & Соловьева, Е. Н. (2021). Определение аммиака в атмосферном воздухе спектрофотометрическим методом. *Экологические системы и приборы*, (12), 19–33. <https://doi.org/10.25791/esip.12.2021.127>
- Роева, Н. Н., Воронич, С. С., Зайцева, И. А., Воронич, Н. С., & Зайцева, О. А. (2022). Определение фенолов в природных водах урбанизированных и фоновых территорий России. *Экологические системы и приборы*, 1, 10–14. <https://doi.org/10.25791/esip.1.2022.1277>
- Роева, Н. Н., Воронич, С. С., & Зайцева, И. А. (2022). Аналитический контроль содержания тяжелых металлов и хлорорганических пестицидов в рыбе и рыбной продукции. *Управление качеством*, (1), 42–45.
- Рындин, А. А., & Стрелюхина, А. Н. (2021). Подходы к совершенствованию системы контроля качества зерна на элеватора. *Вестник ВГУИТ*, 80(4), 55–61.
- Титов, Е. И., Соколов, А. Ю., Литвинова, Е. В., & Шишкина, Д. И. (2021). Влияние пищевых волокон на функционально-технологические свойства мясных систем. *Все о мясе*, (4), 30–36. <https://doi.org/10.21323/2071-2499-2021-4-30-36>
- Творогова, А. А., Калугина, Д. Н., & Гулюкина, Л. Д. (2021). Изделия из мороженого функциональной направленности. *Молочная промышленность*, (8), 45–47.
- Чернобровина, А. Г., Куликова, Н. Е., Роева, Н. Н., & Попова, О. Ю. (2023). Применение современных методов анализа для изучения функциональных компонентов ягод брусники и продуктов ее переработки. *Промышленность и сельское хозяйство*, 3(56), 15–21.
- Щетинин, М. П., Сидорова, Е. С., Морозова, В. В., & Гавенко, М. О. (2023). Полутвердый сыр, обогащенный растительной добавкой с антиоксидантными свойствами. *Сыроделие и маслоделие*, (2), 34–36.
- Bobrenova, I. V., & Rokhlova, M. V. (2021). Lactoferrin: properties and application. A review. *Theory and practice of meat processing*, 6(2), 128–134.
- Danilchuk, T. N., & Alkhateeb, M-K. (2021). Effects of microwave radiation on living microorganisms: effects and mechanisms. *Health, Food & Biotechnology*, 3(1), 75–84. <https://doi.org/10.36107/hfb.2021.i1.s107>
- Kornilov, K. N. (2021). Polymeric derivatives of phosphorus-organic acid amides and dihydric phenols: little studied substances with great prospects. *Phosphorus, Sulfur, and Silicon and the Related Elements*, 196(7), 605–615.
- Krasnova, I. S., Ganina, V. I., Semenov, G. V., Ionova, I. I., & Guchok, Zh. L. (2021). Biotechnology of freeze-dried sour clotted milk with pumpkin and topinambour. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 848, 012017.
- Litvinova, E. V., Titov, E. I., Kidyaev, S. N., Sokolov, A. Yu., & Lapshina, V. L. (2022). Certain features of using modified collagen-containing raw materials with prolonged shelf life in food technology. *Theory and Practice of Meat Processing*, 7(1), 58–65.
- Nikolaev, N. S., Motin, V. V., Burlev, Ya. M., Kornienko V. N. (2022) Experimental simulation of micro-electroosmosis in porous structures of food products. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 1010, 012062. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1010/1/012062>
- Rogov, I. A., Volkova, I. M., Vostrikova, N. L., & Taranova, K. G. (2013). Cell biomass — the first step in the way of cultured meat. *Biotechnology: state of the art and prospects of development: materials of the VII Moscow International Congress*. P. 2, 76.
- Rogov, I. A., & Volkova, I. M. (2011). Muscle cells obtaining *in vitro* using bovine multipotent mesenchymal stem cells (MMSC) *Biotechnology: state of the art and prospects of development: materials of the VI Moscow International Congress*, P.2, 156.

REFERENCES

- Babakin, B. S., Belozerov, G. A., Petrov, V. V., & Pitchenko, V. P. (2022). Study of temperature fields in the distribution refrigerator chamber and refrigerated display case. *Vsyо o myase*, (2), 14–17. <http://doi.org/10.21323/2071-2499-2022-2-40-43>
- Babakin, B. S., Petrov, V. V., Babakin, S. B., & Belozerov, G. A. (2022). Study of heat transfer in a vertical refrigerated display case. *Vestnik Mezhdunarodnoi Akademii Kholoda*, (1), 106–107.
- Bobreneva, I. V., & Rokhlova, M. V. (2021). Lactoferrin: properties and application. A review. *Theory and practice of meat processing*, 6(2), 128–134.
- Volokitina, Z. V., & Sichev, K. V. (2022). Consumer quality of cheeses of the trademark "Courcheval Cheeses". *Upravlenie kachestvom*, (1), 24–27.
- Ganina, V. I., Ionova, I. I., & Kazakova, K. N. (2021). Sourdough market trends. *Molochnaya promishlennost*, (3), 40–43.
- Galyatkina, M. P., & Tvorogova, A. A. (2023). Development of technology for low-lactose ice cream sundaes using the enzymatic hydrolysis method. *Pererabotka moloka*, 7(285), 24–26.
- Ganina, V. I., Mashentseva, N. G., & Ionova, I. I. (2022). Study of bacteriophages that lyse lactic acid bacteria. *Tekhnika i tekhnologiya pishchevikh proizvodstv*, 52(2), 361–374. <http://doi.org/10.21603/2074-9414-2022-2-2371>
- Danilchuk, T. N., Abdrashitova, G. G., Rusalieva, D. A., & Grigoreva, S.A. (2019). Unconventional approaches to poultry processing. *Khranenie i pererabotka selkhozsiroya*. 1, 35–46.
- Danilchuk, T. N., & Alkhateeb, M-K. (2021). Effects of microwave radiation on living microorganisms: effects and mechanisms. *Health, Food & Biotechnology*, 3(1), 75–84. <https://doi.org/10.36107/hfb.2021.i1.s107>
- Danilchuk, T. N., Novosad, Yu. G., & Sidorova, Ye. S. (2022). Antioxidant activity of whey. *Pishchevaya promishlennost*, (3), 39–42.
- Danilchuk, T. N., Novosad, Yu. G., & Berezhnaya, Ye. A. (2022). Innovative cream-based products with antioxidant activity and hepatoprotective properties. *Health, Food, & Biotechnology*, 4(2), 48–58. <https://doi.org/10.36107/hfb.2022.i2.s136>
- Ionova, I. I., & Tikhomirova, N. A. (2021). Development and evaluation of consumer properties of processed cheese products enriched with iodine. *Sirodelie i maslodelie*, (3), 26–28.
- Ionova, I. I., Yurasov, A. O., & Tikhomirova, N. A. (2022). Promising resource-saving technologies for minor protein components from whey. *Pererabotka moloka*, 7(273), 32–34.
- Ionova, I. I., Nguen, B. T., & Tikhomirova, N. A. (2023). Technology of low-lactose fermented milk product with papaya puree. *Molochnaya promishlennost*, (2), 48–50.
- Ionova, I. I., Yurasov, A.O., & Tikhomirova, N. A. (2023). Whey resources and main directions of its processing. *Pererabotka moloka*, 6(284), 16–18.
- Kornilov, K. N. (2021). Polymeric derivatives of phosphorus-organic acid amides and dihydric phenols: little studied substances with great prospects. *Phosphorus, Sulfur, and Silicon and the Related Elements*, 196(7), 605–615.
- Krasnova, I. S., Ganina, V. I., Semenov, G. V., Ionova, I. I., & Guchok, Zh. L. (2021). Biotechnology of freeze-dried sour clotted milk with pumpkin and topinambour. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 848, 012017.
- Krasnova, A. S., Semenov, G. V. Guchok, Zh. L. (2022). Fermented milk freeze-dried food products for people working in the Far North. *Rossiiskaya Arktika*, 19, 61–67
- Krasnova, I. S. Ganina, V. I. Semenov, G. V. Ionova, I. I., & Guchok, Zh. L. (2023). Justification of the shelf life of fermented milk freeze-dried products. *Molochnaya promishlennost*, (3), 46–48.
- Kulikova, N. E., Chernobrovina, A. G., Roeva, N. N., & Popova, O. Yu. (2023). Development of an express method for determining total sugar in diabetic confectionery products. *Analitika*, 13(1), 60–65.
- Landikhovskaya, A. V., Volokitina, Z. V., Krasnova, I. S., & Kochneva, S. E. (2023). Use of goat milk powder in ice cream production. *Molochnaya promishlennost*, (1), 24–25.
- Litvinova, E. V., Kidyaev, S. N., & Lapshina, V. L. (2023). We are expanding the line of food products in the Healthy segment with freeze-dried meat meatballs. *Myasnie tekhnologii*, 10(250), 50–55
- Litvinova, E. V., Kidyaev, S. N., & Lapshina, V. L. (2021). Biologically active substances in the blood of slaughtered animals as a promising vector in the meat industry. *Vestnik VGUIT*, 83(2), 72–78.
- Litvinova, E. V., & Kidyaev, S. N (2021). Biopolymers of natural origin: Peculiarities of their modification. *Myasnie tekhnologii*, 9(225), 56–59.
- Litvinova, E. V., Kidyaev, S. N., & Titov, Ye. I. (2022). New data on the use of by-product collagen-containing raw materials from the meat industry. *Myasnaya industriya*, (12), 38–42.
- Litvinova, E. V., Titov, E. I., Kidyaev, S. N., Sokolov, A. Yu., & Lapshina, V. L. (2022). Certain features of using modified collagen-containing raw materials with prolonged shelf life in food technology. *Theory and Practice of Meat Processing*, 7(1), 58–65.

- Litvinova, E. V. (2022). On the possibility of using rendered Australian beef fat in the technology of shelf-stable meat products. *Originalnie issledovaniya*, 12(1), 57–64.
- Litvinova, E. V. (2022). Technological solutions for using pea isolate to expand the line of analogue products of animal origin. *Myasnie tekhnologii*, 11(239), 11–20.
- Morozova, V. V., Katkova, N. N., & Kolomitseva, O. F. (2021). Development of butter from dehydrated milk fat with rosehip extract. *Sirodelie i maslodelie*, (5), 28–30.
- Morozova, V. V., Sidorova, E. S., & Litvinenko, I. A. (2021). Development of technology for a new functional product. *Pererabotka moloka*, (9), 70–73.
- Morozova, V. V., Mukhanova, I. V., & Sidorova, E. S. (2023). Development of semi-hard cheese with a vegetable additive for functional purposes. *Pererabotka moloka*, 1(279), 46–49.
- Morozova, V. V., Mashirova, A. G., & Kolomitseva, O. F. (2023). Use of DKV in the production of butter from dehydrated milk fat. *Pererabotka moloka*, 2(280), 54–56.
- Nikitin, V. V., Titov, Ye. I., & Litvinova, E. V. (2022). On the possibility of using amaranth processing products in meat systems. *Health, Food & Biotechnology*, 2(3), 67–77. <https://doi.org/10.36107/hfb.2020.i3.s93>
- Nikolaev, N. S., Kornienko, V. N., & Korolev, I. A. (2022). A rational approach to the selection of energy-efficient thermal insulation of cold pipes. *Vse o myase*, (1), 16–21. <https://doi.org/10.21323/2071-2499-2022-1-16-21>
- Nikolaev, N. S., & Kornienko, V. N. (2022). Energoaudit okhlazhdaemikh obektov predpriyatii myasnoi promishlennosti. *Myasnaya industriya*, (4), 45–49.
- Nikolaev, N. S., Motin, V. V., Burlev, Ya. M., Kornienko V. N. (2022) Experimental simulation of micro-electroosmosis in porous structures of food products. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 1010, 012062. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1010/1/012062>
- Nikolaev, N. S., Plyasheshnik, P. I., & Kornienko, V. N. (2023). Energy saving methodology: a universal basis for the strategic development of enterprises. *Myasnaya industriya*, (4), 37–42.
- Rogov, I. A., & Volkova, I. M. (2011). Muscle cells obtaining *in vitro* using bovine multipotent mesenchymal stem cells (MMSC) *Biotechnology: state of the art and prospects of development: materials of the VI Moscow International Congress*, P.2, 156.
- Rogov, I. A., Volkova, I. M. (2012). Method of growing meat *in vitro*. Review. *Biozashchita i biobezopasnost*, 3(12), 26–32.
- Rogov, I. A., Volkova, I. M., Kuleshov, I. P., & Savchenkova, K. V. (2012). Differentiation of multipotent mesenchymal stem cells isolated from bovine bone marrow and adipose tissue into muscle cells *in vitro*. *Selskokhozyaistvennaya biologiya*, (6), 66–72.
- Rogov, I. A., Volkova, I. M., Vostrikova, N. L., & Taranova, K. G. (2013). Cell biomass – the first step in the way of cultured meat. *Biotechnology: state of the art and prospects of development: materials of the VII Moscow International Congress*. P. 2, 76.
- Roeva, N. N., Voronich, S. S., & Zaitseva, I. A. (2021). Atomic absorption determination of aluminum, barium, beryllium and vanadium in the atmospheric air of urbanized and background areas. *Ekologicheskie sistemi i pribori*, (2), 6–10. <https://doi.org/10.25791/esip.02.2021.1208>
- Roeva, N. N., & Voronich, S. S. (2021). About modern mobile means of monitoring atmospheric pollution in local urbanized territories. *Ekologicheskie sistemi i pribori*, (5), 3–10. <https://doi.org/10.25791/esip.05.2021.1224>
- Roeva, N. N., Voronich, S. S., Zaitsev, D. A., Zachernyuk, B. A., & Soloveva, Ye. N. (2021). Determination of ammonia in atmospheric air by spectrophotometric method. *Ekologicheskie sistemi i pribori*, (12), 19–33. <https://doi.org/10.25791/esip.12.2021.127>
- Roeva, N. N., Voronich, S. S., Zaitseva, I. A., Voronich, N. S., & Zaitseva, O. A. (2022). Determination of phenols in natural waters of urbanized and background territories of Russia. *Ekologicheskie sistemi i pribori*, (1), 10–14. <https://doi.org/10.25791/esip.1.2022.1277>
- Roeva, N. N., Voronich, S. S., & Zaitseva, I. A. (2022). Analytical control of the content of heavy metals and organochlorine pesticides in fish and fish products. *Upravlenie kachestvom*, (1), 42–45.
- Rindin, A. A., & Strelyukhina, A. N. (2021). Approaches to improving the grain quality control system at the elevator. *Vestnik VGUI*, 80(4), 55–61.
- Titov, Ye. I., Sokolov, A. Yu., Litvinova, E. V., & Shishkina, D. I. (2021). An effect of dietary fibers on functional and technological properties of meat systems. *Vse o myase*, (4), 30–36. <https://doi.org/10.21323/2071-2499-2021-4-30-36>
- Tvorogova, A. A., Kalugina, D. N., & Gulyukina, L. D. (2021). Functional ice cream products. *Molochnaya promishlennost*, (8), 45–47.
- Chernobrovina, A. G., Kulikova, N. E., Roeva, N. N., & Popova O. Yu. (2023). Application of modern analytical methods to study the functional components of lingonberries and their processed products. *Promishlennost i selskoe khozyaistvo*, 3(56), 15–21.
- Shchetinin, M. P., Sidorova, E. S., Morozova, V. V., & Gavenko, M. O. (2023). Semi-hard cheese enriched with a plant additive with antioxidant properties. *Sirodelie i maslodelie*, (2), 34–36.

<https://doi.org/10.36107/hfb.2023.i2.s168>

УДК 57.083.1

Влияние хлорида натрия на рост биомассы и синтез белковых веществ при культивировании микроводорослей *Dunaliella salina* на питательной среде из свекловичной мелассы

Р. А. Иксанов¹, А. В. Канарский¹, З. А. Канарская¹, В. М. Гематдинова²

¹ Казанский национальный исследовательский технологический университет, Казань, Республика Татарстан

² Казанский инновационный университет им. В. Г. Тимирязова, Казань, Республика Татарстан

Корреспонденция:

Иксанов Ришат Анварович,
Казанский национальный исследовательский технологический университет, 420015, Россия, г. Казань, ул. Карла Маркса, 68
E-mail: rishat.iksanov@yandex.com

Конфликт интересов:

авторы сообщают об отсутствии конфликта интересов.

Поступила: 04.07.2023

Поступила после

рецензирования: 19.09.2023

Принята: 21.09.2023

Copyright: © 2023 Авторы

АННОТАЦИЯ

Введение. В настоящее время области применения галофилов рода Halobacteriaceae ограничены в основном применением β-каротина и гидролаз в пищевой и косметической промышленности. Расширение областей применения галофилов в биотехнологии основано на синтезе эффективных и высокоспецифичных биокатализаторов, которые могут удовлетворить промышленные потребности. Так как галофилы устойчивы к внешним факторам и могут быть культивированы в нестерильных условиях, необходимо определить возможность применения бактерий *D. salina* в промышленности, например, для очистки сточных вод, экспрессии рекомбинантных белков, производства биотоплива, получения природных полимерных материалов.

Цель. Изучить эффективность культивирования микроводорослей *Dunaliella salina* (*D. salina*) на питательной среде из мелассы с дополнительным внесением хлорида натрия.

Материалы и методы. В обзор включены зарубежные статьи, опубликованные на английском языке за 2010–2023 год. Поиск научных статей проводили в библиографических базах Google Scholar, Scopus, Web of Science. При отборе публикаций для обзора приоритет отдавали высокоцитируемым источникам.

Результаты. Установлено, что увеличение температуры культивирования микроводорослей от 5 до 25°C благоприятно влияет на ростовые характеристики культуры *D. salina*. Микроводоросли *D. salina* при содержании NaCl в питательной среде до 5 % проявляют галотолерантные свойства, а с увеличением содержания NaCl в питательной среде до 30 % — галофильные свойства. Наилучшие кинетические характеристики роста культуры *D. salina* проявляются при галофильной физиологической активности. Выход биомассы микроводорослей *D. salina* при культивировании на питательной среде без внесения и при внесении в питательную среду из мелассы 5 % NaCl выше в сравнении с внесением в питательную среду 15 и 30 % NaCl. Установлено, что повышение содержания NaCl приводит к увеличению скорости роста культуры и времени генерации, также в значениях 30 % NaCl проявляется большее содержание белка и β-фруктозидазы. При культивировании до 240 ч наблюдается снижение pH питательной среды с 7,04 до 4,70 в связи с усвоением микроводорослями минерального и связанного с органическими веществами азота. При увеличении продолжительности культивирования микроводорослей число клеток в культуральной жидкости вырастает до $4 \cdot 10^7$ кл/мл, при этом синтезируется внеклеточный фермент β-фруктозидаза, гидролизующий сахарозу.

Выводы. Ввиду полученных данных можно указать на возможность использования мелассы свекловичной в качестве источника углерода и веществ, стимулирующих рост *D. salina*, для получения биомассы, белковых веществ и фермента β-фруктозидазы.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА

биотехнология; *Dunaliella salina*; меласса; культивирование; физиологическая активность; кинетические параметры роста

Для цитирования: Иксанов, Р. А., Канарский, А. В., Канарская, З. А., & Гематдинова, В. М. (2023). Влияние хлорида натрия на рост биомассы и синтез белковых веществ при культивировании микроводорослей *Dunaliella salina* на питательной среде из свекловичной мелассы. *Health, Food & Biotechnology*, 5(2), 17–27. <https://doi.org/10.36107/hfb.2023.i2.s168>



<https://doi.org/10.36107/hfb.2023.i2.s168>

The Effect of Sodium Chloride on Biomass Growth and Protein Synthesis during Cultivation of *Dunaliella salina* Microalgae on a Nutrient Medium from Beet Molasses

Rishat A. Iksanov¹, Albert V. Kanarsky¹, Zosya A. Kanarskay¹,
Venera M. Gematdinova²

¹ Kazan National Research Technological University, Kazan, the Republic of Tatarstan

² Kazan Innovation University named after V. G. Timiryasov, Kazan, the Republic of Tatarstan

Correspondence:

Rishat A. Iksanov

Kazan National Research Technological University, 68, Karl Marx street, Kazan, 420015, Russia

E-mail: rishat.iksanov@yandex.com

Declaration of competing interest:

none declared.

Received: 04.07.2023

Received in revised form: 19.09. 2023

Accepted: 21.09.2023

Copyright: © 2023 The Authors

ABSTRACT

Introduction. Currently, the applications of halophiles of the genus Halobacteriaceae are mainly limited to the use of β -carotene and hydrolases in the food and cosmetic industries. Expanding applications of halophiles in biotechnology are based on the synthesis of efficient and highly specific biocatalysts that can meet industrial needs. Since halophiles are resistant to external factors and can be cultivated under non-sterile conditions, it is necessary to determine the possibility of using *D. salina* bacteria in industry, for example, for wastewater treatment, expression of recombinant proteins, biofuel production, and production of natural polymeric materials.

Purpose. To study the effectiveness of cultivation of microalgae *Dunaliella salina* (*D. salina*) on a nutrient medium from molasses, experiments with additional addition of sodium chloride were carried out in this work.

Materials and Methods. The review includes foreign articles published in English for the period 2010–2023. Search for scientific articles on suitable topics in the bibliographic databases Google Scholar, Scopus, Web of Science. When selecting publications for review, priority was given to highly cited sources.

Results. It has been established that increasing the microalgae cultivation temperature from 5 to 25°C has a beneficial effect on the growth characteristics of the *D. salina* culture. Microalgae *D. salina* exhibit halotolerant properties when the NaCl content in the nutrient medium is up to 5 %, and halophilic properties when the NaCl content in the nutrient medium increases to 30 %. The best kinetic characteristics of the growth of the *D. salina* culture are manifested with halophilic physiological activity. The yield of biomass of microalgae *D. salina* when cultivated on a nutrient medium without adding 5 % NaCl to a nutrient medium from molasses is higher compared to adding 15 and 30 % NaCl to a nutrient medium. Moreover, an increase in the NaCl content leads to an increase in the culture growth rate and generation time; also, at values of 30 % NaCl, a higher content of protein and β -fructosidase appears. When cultivated for up to 240 hours, a decrease in the pH of the nutrient medium is observed from 7.04 to 4.70 due to the assimilation of mineral and nitrogen associated with organic matter by microalgae. With an increase in the duration of microalgae cultivation, the number of cells in the culture liquid increases to $4 \cdot 10^7$ cells/ml, and the extracellular enzyme β -fructosidase is synthesized, which hydrolyzes sucrose.

Conclusions. The research indicates the possibility of using beet molasses as a source of carbon and substances that stimulate the growth of *D. salina* to produce biomass, protein substances and the enzyme β -fructosidase.

KEYWORDS

biotechnology; *Dunaliella salina*; molasses; cultivation; physiological activity; growth kinetic parameters

To cite: Iksanov, R. A., Kanarsky A. V., Kanarskay Z. A., & Gematdinova, V. M. (2023). The effect of sodium chloride on biomass growth and protein synthesis during cultivation of *Dunaliella salina* microalgae on a nutrient medium from beet molasses. *Health, Food & Biotechnology*, 5(2), 17-27. <https://doi.org/10.36107/hfb.2023.i2.s168>



ВВЕДЕНИЕ

D. salina — это галофильные зеленые одноклеточные микроводоросли, встречающиеся в таких гиперсолевых средах, как соленые озера и пруды, в которых немногие организмы способны существовать. Выживанию этих микроводорослей способствуют высокие концентрации β-каротина, защищающего их от длительного ультрафиолетового излучения, и глицерин, который обеспечивает защиту от осмотического давления и ферментативную активность (Боровков & Губдвилевич, 2019). Благодаря обилию β-каротина, который является антиоксидантом и предшественником витамина А, микроводоросли *D. salina* используются в пищевой и косметической промышленности.

D. salina не имеет клеточной стенки и сократительной вакуоли, размеры клеток могут варьироваться в длину от 2,8 до 40 мкм, в ширину от 1,5 до 20 мкм. В чашеобразном хлоропласте микроводорослей содержится большое количество β-каротина, что придает ему оранжево-красный цвет. В зависимости от условий среды обитания *D. salina* бывает различной формы и симметричности. Оптимальная температура роста микроводорослей в зависимости от штамма находится в диапазоне 15–25°C. Некоторые штаммы обладают высокой устойчивостью к стрессам при высоких температурах и концентрациях CO₂ и NO₂ (Borovkov et al., 2021; Баймурзаев и соавт., 2022).

В состав *D. salina* входят 25 % углеводов, которые являются основным компонентом микроводорослей, 10 % белков, 3 % каротиноидов и 3 % липидов. В коммерческих продуктах содержится 48,5 % зольных веществ и 6,6 % влаги (Cakmak et al., 2014). Кроме того, микроводоросли *D. salina* также являются источником витамина B₁₂.

D. salina широко применяется при изучении механизма галотолерантности, экспрессии рекомбинантных белков, очистке сточных вод, производстве биотоплива, при получении природных материалов и т. д. В настоящее время ее промышленное выращивание для получения β-каротина является одной из историй успеха галофильной биотехнологии. Используются различные технологии культивирования *D. salina*, начиная от экстенсивного культивирования в лагунах до интенсивного культивирования при высокой плотности клеток в тщательно контролируемых условиях биореакторов (Али-заде и соавт., 2020).

Расширение областей применения галофилов в биотехнологии основано на синтезе эффективных и высокоспецифичных биокатализаторов, удовлетворяющих промышленные потребности. Галофилы являются отличными источниками ферментов, которые устойчивы не только к соли, но и к другим экстремальным

условиям, содержат биологически активные вещества, при этом культивирование возможно проводить в нестерильных условиях.

Для увеличения скорости культивирования *D. salina* рекомендуется использование синтетических сред с содержанием солей металлов, которые способствуют переходу микроводорослей от «зеленой» культуры к «красной» (Borovkov et al., 2020).

В работе Gastelum-Franco et al. (2021) указывается использование мелассы сахарного тростника после обработки в качестве источника углерода в питательной среде. Установлено влияние источника углерода на скорость роста биомассы и объем выделенных липидов в культуральную среду. Тростниковую мелассу предлагается использовать как основу питательной среды для дальнейшего культивирования.

Уровень накопления биомассы и продуктивность углеводов являются важными показателями эффективности штамма микроводорослей, предназначенного для использования в процессах производства биопрепаратов. На них влияют такие условия, как концентрация и состав питательных веществ, температура, pH и освещенность. Изменение этих параметров приводит к изменению состава биомассы, содержания и состава различных веществ (включая углеводы), что необходимо учитывать при масштабировании процесса производства биомассы (Alva et al., 2022).

Установлено влияние концентрации соли (NaCl) солёности среды на интенсивность накопления каротиноидов (Xi et al., 2022). При культивировании происходит изменение pH среды из-за влияния глицерина, синтезируемого микроводорослями *D. salina*. Показано, что внутриклеточная концентрация ионов глицерина во время синтеза внутриклеточных продуктов приводит к образованию соединений тем или иным способом, влияющих на pH среды (Gonabadi et al., 2022).

Для микроводорослей свет необходим для метаболических процессов, протекающих в клетках, и фотоокисления пигментов. При увеличении освещенности наблюдается повышение скорости синтеза ферментов. Ограничение азота в питательной среде в условиях интенсивного роста культуры приводит к увеличению содержания β-каротина в клетках микроводорослей в несколько раз.

В опубликованных исследованиях указывается на влияние pH питательной среды при культивировании на синтезируемые микроорганизмами жирные кислоты, липиды и ферменты. При этом благоприятными условиями синтеза ферментов микроводорослями *D. salina* является слабощелочная питательная среда с содержанием

малых и средних концентраций соли. Способность галофильных микроорганизмов существовать в засоленных средах обосновывается синтезом ферментов, которые повышают устойчивость культуры в кислой среде (Kumudha & Sarada, 2016; Рязанцев & Муратов, 2021). Данный механизм помогает микроводорослям поддерживать протекание биохимических процессов в клетках (Baati et al., 2022; Jungmann et al., 2022).

Вещества, синтезируемые микроводорослями *D. salina*, целесообразно использовать в качестве биопродуктов (Moghaieb et al., 2018). Например, осмолиты рекомендуются применять в производстве средств для защиты кожи от различных раздражителей и при изготовлении лекарств, способствующих борьбе с заражением кожи (Xu & Harvey, 2019; Silva et al., 2021; Akpolat et al., 2015).

Синтезируемые микроводорослями *D. salina* ферменты способны не только контролировать устойчивость к воздействию соленой среды, но и влиять на химическую потребность кислорода (ХПК) в данной среде. Показано (Akpolat et al., 2015), что при повышении концентрации ведет к уменьшению ХПК, что незначительно влияет на синтез продуктов, необходимых для жизнедеятельности клеток.

Биопродукты, синтезируемые микроорганизмами галофильного свойства, используются в ветеринарной практике для лечения скота от болезней, связанных с шерстяным покровом и пищеварением (Martinez et al., 2022; Khayyal et al., 2019).

В работах Боровков & Гудвилович (2012) и Ха и соавт. (2019) показано применение среды Тренкеша и модифицированной среды Джонсона. Данные среды являются синтетическими, поэтому значительно возрастает себестоимость биопродуктов, синтезируемых *D. salina* в производстве.

Анализ опубликованных работ, отражающих результаты исследований по культивированию *D. salina*, указывает на тенденцию применения в составе питательных сред минеральных веществ с дополнительным внесением рафинированных источников углерода, в частности, глюкозы, фруктозы, мальтозы и сахарозы. При этом из-за низкого выхода биомассы на стадиях культивирования применение микроводорослей *D. salina* в промышленности ограничено, что обуславливает необходимость поиска благоприятных условий для роста биомассы этих микроводорослей и питательных сред и, соответственно, путей повышения экономической эффективности производства БАВ культивированием микроводорослей *D. salina* (Kalaitzidou et al., 2022). В этой связи весьма актуальны исследования по определению возможности использования для культивирования микроводорослей *D. salina* питательных сред,

приготовленных из вторичных ресурсов переработки растительного сырья.

Целью данной статьи является определение эффективности роста биомассы и синтеза белковых веществ при культивировании микроводорослей *D. salina* на питательной среде из свекловичной мелассы в присутствии хлорида натрия.

Для достижения поставленной цели решались следующие задачи:

- (1) определение влияния NaCl и температуры культивирования на усвоение редуцирующих веществ свекловичной мелассы микроводорослями *D. salina*;
- (2) определение влияния NaCl и температуры культивирования на кинетические параметры роста микроводорослей *D. salina* при культивировании на питательной среде из свекловичной мелассы;
- (3) определение влияния NaCl и температуры культивирования на синтез биомассы и белка при культивировании *D. salina* на питательной среде из свекловичной мелассы.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Объектом исследования были микроводоросли *D. salina*, выделенные из донных осадков Кояшского озера Керченского полуострова в августе 2019 года. Культура была отобрана со дна во время цветения поверхности озера красным цветом.

Выделение микроводорослей из донного осадка и хранение культуры проводили принятыми в микробиологии методами (Ха и соавт., 2020) с соблюдением стерильности на питательной среде ГРМ-агар. Определение морфологических признаков микроводорослей проводили на питательной среде МПА. Культивирование колоний микроводорослей проводили в течение 3 суток на чашках Петри и определяли их морфологические и культуральные признаки путем мониторинга на микроскопе Biomed 5 при увеличении 40х. При описании колоний микроводорослей отмечали морфологические и культуральные признаки: форма, цвет, поверхность, оптические свойства, профиль и край колоний. Для дальнейших исследований использовали культуру по фенотипическим признакам, соответствующим микроводоросли *D. salina* (Ха и соавт., 2020): форма колонии круглая, цвет колонии желто-оранжевый, поверхность гладкая, непрозрачная, профиль колонии плоский, край колонии гладкий. Культивирование микроводорослей на питательной среде Гисса показало, что выделенная из донного осадка культура микроводорослей имеет сахаролитическую активность.

В нашем исследовании для приготовления питательной среды использовалась неочищенная меласса (свекло-

сахарная патока) с содержанием сухих веществ 83,0 %, сахара 53,0 %, безазотистых органических веществ 16,7 %, азотистых веществ 14,8 % и 8,5 % минеральных веществ. Меласса была получена из Буинского сахарного завода РТ партии 2022 года. Общее содержание мелассы в питательной среде составляло 6,0 %. Содержание редуцирующих веществ в питательной среде после кислотного гидролиза серной кислотой при 100 °С в течение 2 часов, составило 5,0 %. Меласса содержит микро- и макроэлементы (соединения фосфора, соли калия и кальция), имеет pH 6,78 и необходимые для роста микроорганизмов, поэтому в питательную среду дополнительных биогенных веществ не вносили. При этом в питательную среду вносили хлорид натрия в количестве 5; 15 и 30 % к массе мелассы, что дает возможность определения влияния концентрации соли на физиологическую активность микроводорослей *D. salina* в диапазоне малосолёных, среднесолёных и сильносолёных питательных сред. Приготовленную питательную среду стерилизовали, охлаждали и затем вносили микроводоросли, выращенные на питательной среде Гисса. После стерилизации pH питательной среды составило 7,04.

Культивирование микроводорослей проводили на водном шейкере NewBrunswickScientificInnova 3100/C76(США) в колбах Эрленмейера объемом 250 мл, варьируя температуру от 15 до 35 °С, при 140 об/мин в помещении с освещенностью 300 лм/м² в течение 12 часов и 12 часов без освещения в трех повторностях.

Физиологическую активность культивируемых микроводорослей контролировали по: изменению оптической плотности, проводя исследование на фотоэлектрическом калориметре КФК-2 при длине волны 540 нм; определению количества клеток (КК), используя принятую в микробиологии методику (Martins et al., 2023) изменению pH; потреблению РВ и накоплению биомассы (Martins et al., 2023). Определение pH культуральной жидкости проводили на приборе pH-150МИ (Россия). Подсчёт количества клеток проводился на микроскопе OlympusCX43 (Япония) с использованием счетной камеры Горяева. Определение содержания редуцирующих веществ (РВ) и расчёт удельной скорости роста культуры, времени генерации клеток, выхода биомассы микроводорослей проводили по методике, принятой в микробной биотехнологии (Patricia & Mariela, 2005) Количество синтезируемой биомассы определяли взвешиванием осадка, выделенного из культуральной жидкости центрифугированием при 8000 об./мин. в течение 15 минут и последующей сушкой. Содержание белка определялось методом Бредфорда (Watsuji et al., 2021) с использованием спектрофотометра Tecaninfinite M200 Pro(Австрия) при длине волны 595 нм.

Для анализа и аппроксимации полученных данных использовали полиномы 2-й степени, определяющие

тенденцию по изменению показаний РВ, КК и pH сред. Данный метод не определяет точное значение показаний, а лишь указывает на тенденцию динамических систем по абсциссам, как можно уточнить по данным работам (Box et al., 2015).

Полученные экспериментальные результаты и значения погрешностей обрабатывались в программе Microsoft® Excel® (вер.15.05.05501.1000).

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Проведенные нами исследования показали, что температура культивирования микроводорослей влияет на содержание РВ, оптическую плотность и pH культуральной жидкости (Таблица 1). Установлено, что варьирование температурой глубинного культивирования микроводорослей от 15 до 35 °С благоприятно влияет на ростовые характеристики культуры *D. salina* (Таблица 2). Полученные результаты сопоставимы с данными работами Halme A. (2015). Авторы культивировали *D.salina* на синтетической среде Conway при различных концентрациях NaCl и температуре. Была установлена зависимость концентрации клеток в культуральной жидкости, количество биомассы и количество синтезируемого микроводорослью хлорофилла от температуры и концентрации соли в субстрате. Исследования показали, что для данной питательной среды благоприятными условиями является температура, равная 18 °С и концентрация соли, равная 25 %.

Таблица 1

Влияние температуры культивирования *D. salina* на оптическую плотность, РВ и pH культуральной жидкости при внесении 10 % NaCl в питательную среду к массе мелассы. Продолжительность культивирования 240 ч.

Показатель	Температура культивирования, °С				
	15	20	25	30	35
РВ, %	0,27	0,50	0,36	0,33	0,32
A	0,12	0,13	0,15	0,15	0,15
pH	4,60	5,26	6,27	6,50	7,12

Результаты, представленные в Таблице 2, показывают, что при внесении хлорида натрия в питательную среду в количестве 10 % к массе мелассы с увеличением температуры культивирования увеличивается удельная скорость роста культуры и снижается время генерации клеток.

Данная зависимость прослеживается в работе Wu et al. (2016). Согласно полученным результатам в этой работе, благоприятной температурой культивирования микроводорослей *D. salina* является 25°С.

Таблица 2

Влияние температуры культивирования *D. salina* на питательной среде из мелассы на удельную скорость роста и время генерации клеток при внесении в питательную среду 10 % хлорида натрия к массе мелассы. Продолжительность культивирования 240 ч.

Температура культивирования, °C	Удельная скорость роста культуры, ч ⁻¹	Время деления (генерации) клетки, ч
5	0,1 ± 0,08	6,93 ± 0,26
10	0,3 ± 0,08	2,31 ± 0,26
15	0,7 ± 0,08	0,99 ± 0,26
25	1,0 ± 0,08	0,69 ± 0,26
30	0,7 ± 0,08	0,99 ± 0,26

Исходя из полученных результатов, представленных в Таблице 2, дальнейшие исследования по определению влияния концентрации соли в питательной среде и продолжительности культивирования микроводорослей проводили при температуре 25°C. Следует отметить, что полученные значения согласуются с результатами, представленными в работе Hui et al. (2009), в которой установлено влияние температуры и продолжительности культивирования на ростовые показатели *D.salina*. При этом рекомендованной температурой культивирования *D.salina* в данной работе является 25 °C, обеспечивающей рост биомассы и числа клеток в культуральной жидкости.

На Рисунке 1 представлены результаты, отражающие влияние хлорида натрия и продолжительности культивирования микроводорослей *D. salina* на питательной среде, приготовленной из мелассы, на pH культуральной жидкости. С увеличением продолжительности культивирования

до 240 ч наблюдается снижение pH питательной среды. Усвоение микроводорослями минерального и связанного с органическими веществами азота, присутствующего в питательной среде из мелассы, в период культивирования приводит к снижению pH с 7,04 до 4,70.

Взаимное влияние содержания солей в питательной среде из мелассы и продолжительности культивирования микроводорослей на pH культуральной жидкости описывается параболой с максимальным значением точки экстремума 6,05, что совпадает с графическим значением рассматриваемого показателя при продолжительности культивирования 48 ч.

Оптическая плотность культуральной жидкости в период культивирования микроводоросли до 240 ч снижается, что обусловлено ассимилированием микроводорослями красящих веществ (меланоидины и карамели (смеси продуктов, образующихся при термическом разложении сахарозы и моносахаров), присутствующих в питательной среде из мелассы (Рисунок 2).

По истечению 48–384 ч были исследованы полученные результаты значений pH, А, РВ и КК для образцов с концентрацией NaCl 0,5, 15 и 30 % (Рисунок 1, 2, 3 и 4).

В этот период культивирования наблюдается потребление микроводорослями редуцирующих веществ (Рисунок 3) и интенсивный рост микроводорослей, что подтверждается результатами определения КК, представленными на Рисунке 4.

При увеличении продолжительности культивирования микроводорослей более 240 ч наблюдается рост оптической плотности культуральной жидкости, что, видимо,

Рисунок 1

Влияние внесенного NaCl (0; 5; 15; 30 %) и продолжительности культивирования *D. salina* на питательной среде, приготовленной из мелассы, на pH культуральной жидкости при температуре 25 °C

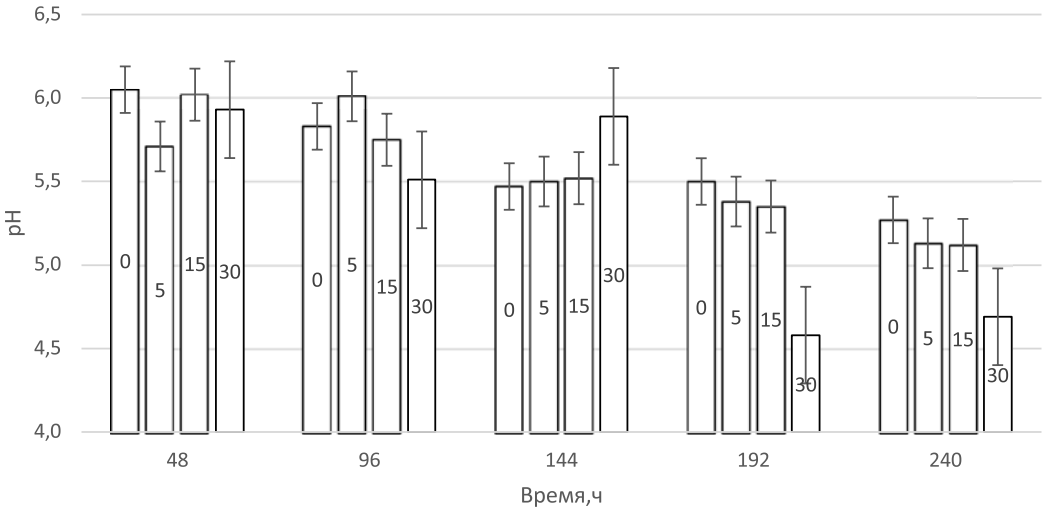
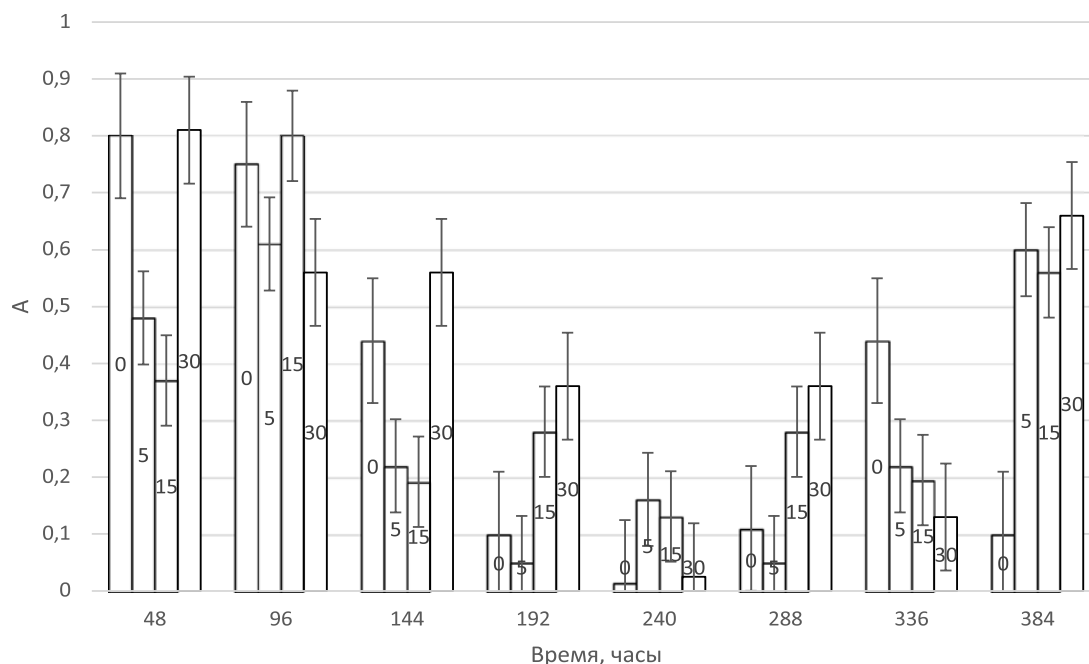


Рисунок 2

Влияние внесенного NaCl (0; 5; 15; 30 %) и продолжительности культивирования на оптическую плотность культуральной жидкости при температуре 25°C



связано с продолжением роста микроводорослей и выделением внеклеточных белковых веществ, в частности, ферментов, гидролизующих углеводы, присутствующие в мелассе.

На биокаталитические реакции гидролиза углеводов в питательной среде из мелассы ферментами, выделяемыми микроводорослями, указывает рост значения РВ в культуральной жидкости (Рисунок 3).

Взаимное влияние содержания соли в питательной среде из мелассы и продолжительности культивирования микроводорослей на оптическую плотность, количество редуцирующих веществ и синтез КК описывается полиномиальными зависимостями, имеющими минимальные и максимальные значения этих показателей при продолжительности культивирования 192 и 384 ч. Полиномиальные зависимости, были использованы для предска-

Рисунок 3

Влияние внесенного NaCl (0; 5; 15; 30 %) и продолжительности культивирования *D. salina* на питательной среде, приготовленной из мелассы, на содержание РВ в культуральной жидкости при температуре 25°C

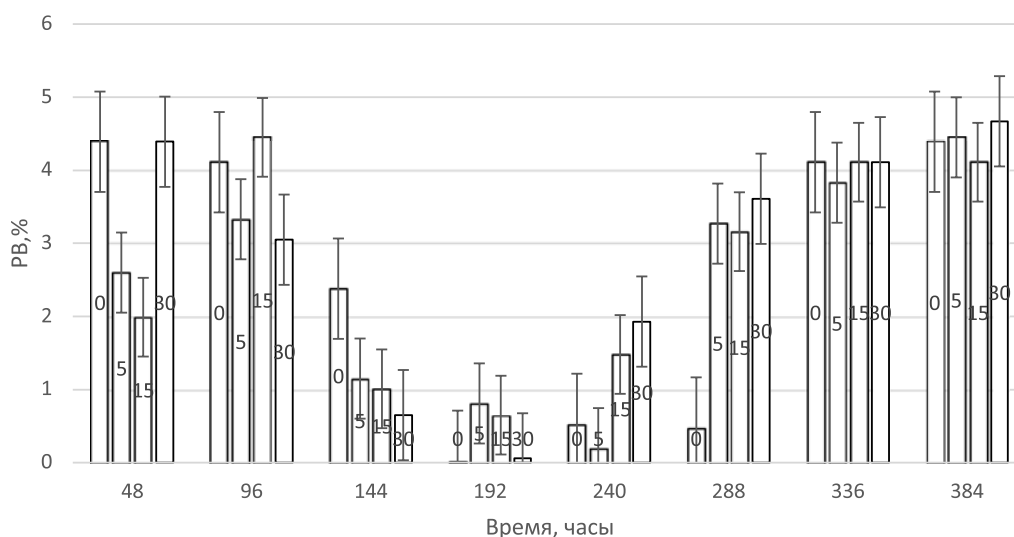
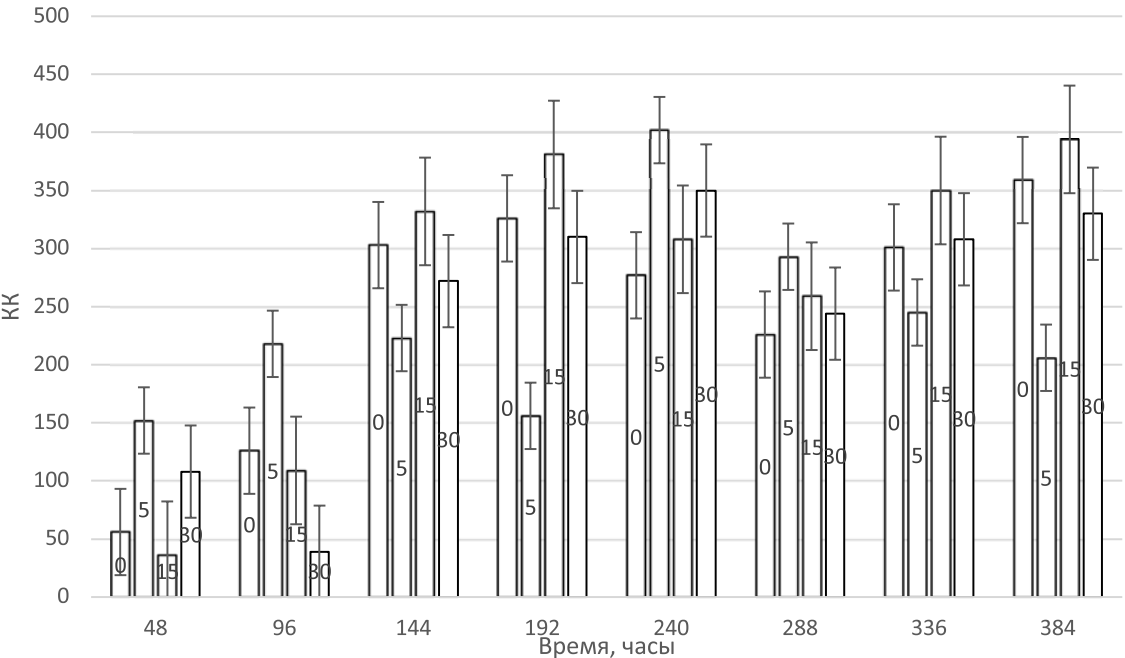


Рисунок 4

Влияние внесенного NaCl (0; 5; 15; 30 %) и продолжительности культивирования *D. salina* на питательной среде из мелассы на значение количества клеток в культуральной жидкости



зания дальнейшего изменения значения при постоянных значениях времени проведения эксперимента.

Расчеты показывают, что на значение величин удельной скорости роста культуры и времени деления клеток оказывает влияние содержание хлорида натрия, внесенного в питательную среду (Таблица 3). Однако, как видно из представленных результатов, культура растет на питательной среде из мелассы без внесения хлорида натрия. Видимо, его присутствие в мелассе положительно сказывается на жизнедеятельности микроводорослей *D. salina*. При этом рассматриваемая культура проявляет галотолерантные свойства без внесения и с внесением 5 % NaCl в питательную среду.

Взаимное влияние содержания соли и времени культивирования на количество синтезируемых клеток, РВ и рН можно описать полиномиальной зависимостью полученных при обработке результатов экспериментов по программе Microsoft® Excel® (вер.15.05.05501.1000). Данные уравнения позволяют обозначить зависимость переменной, выбранной для изучения, и независимой переменной, представленной в данной работе в виде времени культивирования. На Рисунках 1 и 2 формулы имеют квадратичные степени полиномиальных уравнений, что означает увеличение показателей оптической плотности и рН, соответственно, за счет изменения значения каждой зависимой переменной (концентрации NaCl и времени культивирования). В формуле Рисунка 3 виден полином 3-ей степени, где ожидаемое значение РВ

будет меняться на значения, представленные скалярной переменной. Полученные уравнения можно использовать для прогнозирования результатов культивирования *D.salina*, не прибегая к экспериментам.

Таблица 3
Влияние внесенного количества NaCl на удельную скорость роста и время генерации *D. salina* на питательной среде из мелассы при температуре 25°C

Количество внесенного в питательную среду хлорида натрия, %	Удельная скорость роста культуры, ч ⁻¹	Время деления (генерации) клетки, ч
0	0,35 ± 0,06	1,98 ± 0,2
5	0,50 ± 0,06	1,38 ± 0,2
15	0,22 ± 0,06	3,15 ± 0,2
30	0,40 ± 0,06	1,73 ± 0,2

С увеличением содержания хлорида натрия в питательной среде культура *D. salina* проявляет галофильные свойства. Внесение 15 % NaCl вызывает снижение удельной скорости роста и увеличение времени генерации клеток. Данный эффект связан с переходной осмотической адаптацией ввиду синтеза глицерина *D.salina* при увеличении концентрации NaCl в питательной среде, что и обуславливает изменение кинетических характеристик роста микроводоросли по сравнению с экспериментами, в которых концентрация NaCl была 0,5 и 30 %.

Полученные в работе результаты согласуются с установленными зависимостями в работе А. Орен (2014), в которой указывается изменение КОЕ в зависимости от концентрации соли в питательной среде и времени культивирования. Улучшению кинетических характеристик культуры способствует увеличение содержания хлорида натрия в питательной среде до 30 %, что приводит к переходу культуры из галотолерантной в галофильную физиологическую активность. Однако, наилучшие кинетические характеристики роста культуры *D. salina* проявляются в галотолерантной физиологической активности.

Следует отметить, что выход биомассы микроводорослей *D. salina* при культивировании на питательной среде без внесения и при внесении в питательную среду из мелассы 5 % NaCl выше по сравнению с внесением в питательную среду 15 и 30 % NaCl. В то же время содержание белка в культуральной жидкости ниже по сравнению с содержанием белка в культуральной жидкости, в которую вносили 15 и 30 % NaCl (Таблица 4).

Таблица 4

Влияние внесенного количества NaCl на выход биомассы и синтез белка при температуре культивирования *D. salina* 25°C

Количество внесенного в питательную среду хлорида натрия, %	Выход биомассы, %	Содержание белка, мг/мл
0	48 ± 3,5	0,61 ± 0,09
5	58 ± 3,5	0,56 ± 0,09
15	42 ± 3,5	0,63 ± 0,09
30	31 ± 3,5	0,80 ± 0,09

Из полученных результатов следует, что значения времени генерации и скорость роста культуры меньше, чем значения данных параметров у экспериментов, полученных при изучении влияния температуры на рост культуры. Это можно объяснить тем, что влияние температуры на кинетические параметры имеет более выраженный характер, чем влияния концентрации NaCl на рост культуры. По результатам, представленным в Таблице 2, видно, что значения удельного роста культуры после 25°C имеют схожие параметры как при 15°C, поэтому можно указывать на целесообразную температуру культивирования 25°C. По представленным графикам с полиномиальными моделями можно выразить зависимости исследуемых параметров от зафиксированных параметров культивирования.

Показано, что при увеличении продолжительности культивирования микроводорослей *D. salina* свыше 240 ч в питательной среде из мелассы наблюдается увеличение редуцирующих веществ. Видимо, это обусловлено

присутствием в культуральной жидкости специфических белков, в частности, фермента β-фруктозидазы. Это подтверждается определением β-фруктозидазной активности культуральной жидкости после окончания культивирования микроводорослей (Таблица 5).

Таблица 5

Влияние внесенного количества NaCl в питательную среду из мелассы на ферментативную активность *D. salina* при температуре 25°C

Количество внесенного в питательную среду хлорида натрия, %	β-фруктозидазная активность, мкмоль/мл
0	1,7 ± 0,02
5	3,3 ± 0,02
15	1,6 ± 0,02
30	3,0 ± 0,02

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате проведенных исследований установлено, что внесение хлорида натрия в питательную среду из свекловичной мелассы для культивирования *D. salina* влияет на рост биомассы и синтез белковых веществ.

Внесение хлорида натрия в питательную среду из мелассы влияет на физиологическую активность микроводорослей *D. salina*, выделенных из Кояшского озера. При этом создание условий для проявления культурой *D. salina* галотолерантных свойств предпочтительней, так как при культивировании на питательной среде из мелассы наблюдается более высокая удельная скорость роста культуры, достигающая (0,5 ч⁻¹), меньшее значение времени генерации клеток (1,38 ч) и больший выход биомассы (58 %) по сравнению с проявлением этой культурой галофильных свойств. Установлено, что концентрация NaCl влияет на показатели усвояемости углеводов свекловичной мелассы при большей концентрации соли и при значениях температуры 15–25 °C.

Культивирование микроводорослей *D. salina* на питательной среде из мелассы сопровождается ассимилированием всех источников углерода, присутствующих в мелассе: красящие вещества, меланоидины, карамели, сахара и другие углеводсодержащие вещества и, соответственно, увеличением концентрации клеток до 4·10⁷ кл/мл в культуральной жидкости, которые необходимо контролировать подсчетом. Косвенный метод оценки количества клеток по оптической плотности культуральной жидкости не пригоден в связи с присутствием красящих веществ, которые усваиваются микроводорослями.

При культивировании на питательной среде из мелассы микроводоросли *D. salina* синтезируют вторичные продукты метаболизма — внеклеточные белки со специфическими свойствами, в частности, фермент с β -фруктозидазной активностью 3,0 мкмоль/мл, который способствует образованию редуцирующих веществ в питательной среде из сахарозы.

Полученные результаты исследований показывают возможность использования мелассы свекловичной в присутствии хлорида натрия до 30 % в качестве источника углерода и веществ, стимулирующих рост *D. salina*. При этом выход биомассы может достигать до 58 % и концентрации белковых веществ в культуральной жидкости до 0,8 мг/мл.

ВКЛАД АВТОРОВ

Иксанов Р. А.: применение статистических, математических или других формальных методов для анализа или

синтеза данных исследования, разработка или проектирование методологии исследования, подготовка и создание черновика рукописи, в частности написание первоначального текста рукописи.

Канарский А. В.: концептуализация, разработка методологии исследования, валидация данных, предоставление учебных материалов, реагентов, материалов, пациентов, лабораторных образцов, животных, приборов, вычислительных ресурсов или других инструментов анализа.

Канарская З. А.: визуализация/представление данных, подготовка и создание рукописи, её комментирование или пересмотр, включая этапы до или после публикации рукописи.

Гематдинова В. М.: отслеживание воспроизводимости результатов/экспериментов и других результатов исследований, надзор и руководство за планированием и выполнением исследовательской деятельности, включая наставничество.

ЛИТЕРАТУРА

- Али-заде, Г. И., Сулейманова, Л. М., & Джалилова, А. Р. (2020). Биосинтез пигментов в клетках *Dunaliella Salina* IPPAS D-294, модифицированных ионолом при высокой солёности в оптимальном и низкотемпературном режимах культивирования. *Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований*, (2), 9–14.
- Баймурзаев, Е. Н., Тонких, А. К., & Верушкина, О. А. (2022). Особенности культивирования аральского штамма *Dunaliella salina* AR-1 на открытом воздухе. *Universum: химия и биология*, 11, 39–42. <http://dx.doi.org/10.32743/2022.101.11.14493>
- Боровков, А. Б., & Гудвиллович, И. Н. (2012). Ростовые и биохимические показатели квазинепрерывной культуры *Dunaliella salina*. *Biotechnology. Acta*, 5(3), 105–111.
- Боровков, А. Б., & Гудвиллович, И. Н. (2019). Апробация двухстадийного выращивания *Dunaliella salina* в Севастопольском регионе. *Вопросы современной альгологии*, (2), 211–220. <http://dx.doi.org/10.18470/1992-1098-2019-2-211-220>
- Рязанцев, К. О., & Муратов, А. В. (2021). Исследование антиоксидантной активности биомассы водоросли *Dunaliella salina*. В *Горизонты биофармацевтики* (с. 116–118). Курский государственный медицинский университет.
- Ха, З. Т., Канарский, А. В., Канарская, З. А., Щербаков, А. В., & Щербакова, Е. Н. (2019). Эффективность культивирования бактерий рода *Paenibacillus mucilaginosus* на питательной среде на основе сахарозы. Научный журнал НИУ ИТМО. Серия «Процессы и аппараты пищевых производств», 3, 62–72.
- Ха, Т. З., Канарский, А. В., & Канарская, З. А. (2020). Эффективность культивирования бактерий *Paenibacillus* на ферментализатах клетчатки рисовой шелухи. *Химия растительного сырья*, (2), 271–282. <http://dx.doi.org/10.14258/jcprm.2020026687>
- Akpolat, C., Ventosa, A., Birbir, M., Sánchez-Porro, C., & Caglayan, P. (2015). Molecular identification of moderately halophilic bacteria and extremely halophilic archaea isolated from salted sheep skins containing red and yellow discolorations. *Journal of American Leather Chemists Association*, 100(7), 211–226.
- Alva, M., Norena-Barroso, E., Guerra-Castro, E., Albarrán, I., Barreto, A., & Gaxiola, G. (2022). Fatty acid profile and productivity variation during the growth of *Dunaliella* sp. under different photon flux densities and glycerol concentrations. *Latin American Journal of Aquatic Research*, 50, 236–250. <http://dx.doi.org/10.3856/vol50-issue2-fulltext-2815>
- Baati, H., Mariam, S., Azri, C., Ammar, E., & Trigui, M. (2022). Hydrolytic enzyme screening and carotenoid production evaluation of halophilic archaea isolated from highly heavy metal-enriched solar saltern sediments. *Brazilian Journal of Microbiology*, 53, 1893–1906. <http://dx.doi.org/10.1007/s42770-022-00855-6>
- Borovkov, A. B., Gudvilovich, I. N., & Avsiyan, A. L. (2020). Scale-up of *Dunaliella salina* cultivation: from strain selection to open ponds. *Journal of Applied Phycology*,

- 32, 1545–1558. <http://dx.doi.org/10.1007/s10811-020-02104-5>
- Borovkov, A. B., Gudvilovich, I. N., Avsiyan, A. L., & Lantushenko, A. O. (2021). Light supply and mineral nutrition conditions as optimization factors for outdoor mass culture of carotenogenic microalga *Dunaliella salina*. *Aquaculture Research*, 52, 6098–6106. <http://dx.doi.org/10.1111/are.15471>
- Box, G. E. P., & Wilson, K. B. (1951). On the Experimental Attainment of Optimum Conditions. *Journal of royal statistical society series B*, 13, 1–38.
- Cakmak, Y. S., Kaya, M., & Asan-Ozusaglam, M. (2014). Biochemical composition and bioactivity screening of various extracts from *Dunaliella salina*, a green microalga. *EXCLI Journal*, 13, 679–690. <http://dx.doi.org/10.17877/DE290R-6669>
- Chen, H., Jiang, J. G., & Wu, G.H. (2009). Effects of salinity changes on the growth of *Dunaliella salina* and its isozyme activities of glycerol-3-phosphate dehydrogenase. *Journal Agric Food Chemistry*, 57, 6178–82. <https://doi.org/10.1021/jf900447r>
- Gastelum-Franco, J. J., Esparza-Leal, H. M., García-Ulloa, M., López-Álvarez, E. S., Muy-Rangel, M. D., Pérez-Rubio, V., Ulloa-Mercado, R. G., & Montiel-Montoya, J. (2021). Preliminary evaluation of the green microalga *Dunaliella salina* as a potential feedstock for biodiesel: effect of molasses on growth and lipid profile. *Latin American Journal of Aquatic Research*, 49, 763–772. <http://dx.doi.org/10.3856/vol49-issue5-fulltext-2755>
- Gómez, P. I., & González, M. A. (2005). The effect of temperature and irradiance on the growth and carotenogenic capacity of seven strains of *Dunaliella salina* (Chlorophyta) cultivated under laboratory conditions. *Biological research*, 38(2–3), 151–162. <https://doi.org/10.4067/s0716-97602005000200005>
- Gonabadi, E., Samadlouie, H. R., & Shafari Zenoozian, M. (2022). Optimization of culture conditions for enhanced *Dunaliella salina* productions in mixotrophic culture. *Preparative Biochemistry & Biotechnology*, 52, 154–162. <http://dx.doi.org/10.1080/10826068.2021.1922917>
- Halme, A. (2015). Polynomial operators for nonlinear systems analysis. *Mathematics and Computer Machine Series*, (24). <https://doi.org/10.13140/RG.2.1.4970.8649>
- Jungmann, L., Hoffmann, S. L., Lang, C., De Agazio, R., Becker, J., Kohlstedt, M., & Wittmann, Ch. (2022). High-efficiency production of 5-hydroxyectoine using metabolically engineered *Corynebacterium glutamicum*. *Microbial Cell Factories*, 21(1), 274. <http://dx.doi.org/10.1186/s12934-022-02003-z>
- Kalaitzidou, M. P., Alvanou, M. V., Papageorgiou, K. V., Lattos, A., Sofia, M., Kritas, S. K., Petridou, E., & Giantsis, I. A. (2022). Pollution indicators and HAB-associated halophilic bacteria alongside harmful cyanobacteria in the largest mussel cultivation area in Greece. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 19(9), 5285. <http://dx.doi.org/10.3390/ijerph19095285>
- Khayyal, M. T., El-Baz, F. K., Meselhy, M. R., Ali, G. H., & El-Hazek, R. M. (2019). Intestinal injury can be effectively prevented by *Dunaliella salina* in gamma-irradiated rats. *Heliyon*, 5(5), e01814. <http://dx.doi.org/10.1016/j.heliyon.2019.e01814>
- Kumudha, A., & Sarada, R. (2016). Characterization of vitamin B12 in *Dunaliella salina*. *Journal Food Science Technology*, 53, 888–894. <http://dx.doi.org/10.1007/s13197-015-2005-y>
- Martínez, G. M., Pire, C., & Martínez-Espinosa, R. M. (2022). Hypersaline environments as natural sources of microbes with potential applications in biotechnology: The case of solar evaporation systems to produce salt in Alicante County (Spain). *Current Research in Microbial Sciences*, 3, 100136. <http://dx.doi.org/10.1016/j.crmicr.2022.100136>
- Martins, A., Alves, C., Silva, J., Pinteus, S., Gaspar, H., & Pedrosa, R. (2023). Sulfated polysaccharides from macroalgae – a simple roadmap for chemical characterization. *Polymers*, 15(2), 399. <http://dx.doi.org/10.3390/polym15020399>
- Moghaieb, R., Abdallah, A., Sharaf, A., Abdallah, N., Samra, B., & Al-Gozyer, R. (2018). Characterization of salt tolerance in four halophytic bacteria strain isolated from solar saltern at Alexandria-Egypt. *Bioscience Research*, 15, 1905–1916. <http://dx.doi.org/10.13140/RG.2.2.32083.12322>
- Oren, A. (2014). The ecology of *Dunaliella* in high-salt environments. *Journal of Biological Research-Thessaloniki*, 21, 23. <https://doi.org/10.1186/s40709-014-0023-y>
- Silva, M. R., Moura, A. S., Converti, A., Porto, A., Viana, D., & Bezerra, R. P. (2021). Assessment of the potential of *Dunaliella* microalgae for different biotechnological applications: A systematic review. *Algal Research*, 8(1), 102396. <http://dx.doi.org/10.1016/j.algal.2021.102396>
- Watsuji, T., Naka, A., & Morita, Y. (2021). Effect of temperature and dissolved oxygen on gravity sedimentation of the unicellular alga *Dunaliella salina*. *Annals of Microbiology*, 71, 25. <https://doi.org/10.1186/s13213-021-01636-6>
- Wu, Z., Promchup, D., Pu, Z., Nirani, J., & Chunhong, M. (2016). The effects of light, temperature, and nutrition on growth and pigment accumulation of three *Dunaliella salina* strains isolated from saline soil. *Jundishapur Journal Microbiology*, 9. <https://doi.org/10.5812/jjm.26732>
- Xi, Y., Zhang, J., Kong, F., Chi J., & Chi Z. (2022). Kinetic modeling and process analysis for photo-production of β -carotene in *Dunaliella salina*. *Bioresources and Bioprocess*, 9, 4. <http://dx.doi.org/10.21203/rs.3.rs-1017195/v1>
- Xu, Y., & Harvey, P. J. (2019). Carotenoid production by *Dunaliella salina* under red light. *Antioxidants*, 8(5), 123. <http://dx.doi.org/10.3390/antiox8050123>

<https://doi.org/10.36107/hfb.2023.i2.s171>

УДК 678.21.38

Исследование возможности использования биоразлагаемых целлюлозосодержащих материалов на основе мискантуса в качестве одноразовой посуды и упаковки пищевых продуктов

И. А. Кирш, И. С. Тверитникова, В. В. Баталова

Российский биотехнологический университет («РОСБИОТЕХ»),
Москва, Россия

Корреспонденция:

Тверитникова Изабелла Сергеевна,
Российский биотехнологический университет (РОСБИОТЕХ),
125080, Россия, г. Москва,
Волоколамское шоссе, 11
E-mail: tveritnikova@mgupp.ru

Конфликт интересов:

авторы сообщают об отсутствии конфликта интересов.

Поступила: 17.07.2023

Поступила после

рецензирования: 13.09.2023

Принята: 21.09.2023

Copyright: © 2023 Авторы

АННОТАЦИЯ

Введение. В настоящее время одним из приоритетных направлений развития науки и техники в области экологии и охраны окружающей среды является разработка биоразлагаемых материалов.

Цель. Целью работы является исследование целлюлозосодержащих материалов для определения возможности их использования в качестве упаковочных материалов пищевых продуктов и одноразовой посуды.

Материалы и методы. В качестве объектов исследования были выбраны материал на основе мискантуса и материал на основе беленой целлюлозы. Исследования проводились в центре коллективного пользования на базе Российского биотехнологического университета. В работе исследовали барьерные свойства, деформационно-прочностные характеристики, санитарно-гигиенические показатели и способность к биоразложению.

Результаты. Материал из мискантуса имеет более высокие показатели физико-механических свойств по сравнению с целлюлозным материалом из древесины. Проницаемость для паров воды, по кислороду, а также жиростойкость всех исследуемых образцов невысокая. Исследуемые материалы являются нежиростойкими и не рекомендуются для пищевых продуктов с высоким содержанием жира. При исследовании образцов в жидкой среде биогумус было отмечено, что образцы из древесной целлюлозы и из мискантуса разложились в модельной среде на 8 неделе. Определено, что образцы материала из мискантуса разлагаются полностью за 6 недель компостирования, образцы материала из древесной целлюлозы — после 12 недель. Исследования лабораторных образцов по техническому регламенту таможенного союза 005/2011 «О безопасности упаковки» установили, что предельно допустимые концентрации выделившихся низкомолекулярных веществ не превышают установленную норму, и такую упаковку можно использовать для контакта с пищевыми продуктами.

Выводы. В результате исследования качества целлюлозных материалов определено, что качество изделий удовлетворительное: дефектов нет, повреждений нет, включений нет. По результатам проведенных исследований определено соответствие образцов целлюлозных тарелок нормам ТР ТС 005/2011. Данные целлюлозосодержащие материалы можно использовать в качестве упаковочных материалов пищевых продуктов и одноразовой посуды.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА

материал из мискантуса, материал из древесной целлюлозы, биоразложение, барьерные свойства, деформационно-прочностные характеристики

Для цитирования: Кирш, И. А., Тверитникова, И. С., Баталова, В. В. (2023). Исследование возможности использования биоразлагаемых целлюлозосодержащих материалов на основе мискантуса в качестве одноразовой посуды и упаковки пищевых продуктов. *Health, Food & Biotechnology*, 5(2), 28-38. <https://doi.org/10.36107/hfb.2023.i2.s171>



<https://doi.org/10.36107/hfb.2023.i2.s171>

Feasibility Study of Biodegradable Cellulose-Containing Materials Based on Miscanthus as Disposable Tableware and Food Packaging

Irina A. Kirsh, Izabella S. Tveritnikova, Valentina V. Batalova

Russian Biotechnological University
(BIOTECH University), Moscow, Russia

Correspondence:

Izabella S. Tveritnikova
Russian Biotechnological University, 11,
Volokolamskoe highway, Moscow,
125080, Russia
E-mail: tveritnikova@mgupp.ru

Declaration of competing interest:
none declared.

Received: 17.07.2023

Received in revised form: 13.09.2023

Accepted: 21.09.2023

Copyright: © 2023 The Authors

ABSTRACT

Introduction. Currently, the development of biodegradable materials is one of the priority areas for the development of science and technology in the field of ecology and environmental protection.

Purpose. The purpose of the paper is to study cellulose-containing materials in order to determine the possibility of their usage as packaging materials for food products and disposable tableware.

Materials and Methods. In this paper, the objects of the study were a material based on miscanthus and a material based on bleached cellulose. The research was carried out at the Russian Biotechnological University. The authors studied barrier properties, deformation-strength characteristics, sanitary and hygienic indicators, and biodegradability.

Results. Miscanthus material has higher physical and mechanical properties compared to cellulose wood material. The permeability to water vapor, oxygen, as well as the grease resistance of all the studied samples is low. Wood pulp and miscanthus materials are non-grease resistant and are not recommended for fatty foods. When studying samples in a liquid vermicompost medium, it was noted that samples from wood cellulose and miscanthus decomposed in the model medium at the 8th week. It was determined that after 6 weeks of composting, samples of the material from miscanthus decomposed completely, while samples of the material from wood cellulose achieved complete biodegradation after 12 weeks. Studies of laboratory samples in accordance with the technical regulations of the Customs Union 005/2011 "On the safety of packaging" have established that the maximum permissible concentrations of released low-molecular substances do not exceed the established norm, and such packaging can be used for contact with food products.

Conclusions. As a result of studies of the quality of cellulose materials, it was determined that the quality of the products is satisfactory: no defects, no damage, no inclusions. It was established that the studied samples have high physical and mechanical properties. It was determined that samples of cellulose materials decompose completely within 3 months. In this case, not even fragments of materials remain. It was found that even under conditions of limited access to air oxygen (landfill model), the samples decompose completely within 4 months without the formation of fragments of products or fibers. Based on the results of the studies, the compliance of samples of cellulose plates with the standards of TR CU 005/2011 was determined. The outcomes of the research reveal that these cellulose-containing materials can be used as packaging materials for food products and disposable tableware.

KEYWORDS

miscanthus material, wood cellulose material, biodegradation, barrier properties, deformation-strength characteristics



To cite: Kirsh, I. A., Tveritnikova, I. S., & Batalova, V. V. (2023). Feasibility Study of Biodegradable Cellulose-Containing Materials Based on Miscanthus as Disposable Tableware and Food Packaging. *Health, Food & Biotechnology*, 5(2), 28-38. <https://doi.org/10.36107/hfb.2023.i2.s171>

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время полимерные материалы и изделия из них используются повсеместно, они широко применяются почти во всех сферах деятельности человека, начиная от пищевой отрасли, заканчивая деталями для автомобилестроения. Производство полимеров, синтезируемых из нефти с каждым годом, растет, только в России за 2021 год количество изготавливаемых пластиковых изделий составило 821,1 тыс. т¹. Однако проблемы с экологией и возобновлением нефтересурсов остаются нерешенными, поэтому важно искать альтернативы производимым пластикам.

Так, для улучшения экологической ситуации в мире, люди начали проявлять большой интерес к производству и применению биополимеров и биоразлагаемых полимерных композиций (БПК). Большинство полимеров, используемых для производства полимерных изделий, являются биоинертными и не разлагаются в естественных условиях в течение длительного времени. К тому же обычные пластики требуют дорогой и сложной утилизации, а также на их изготовление уходит большой запас невозобновляемых ресурсов. Поэтому ученые и инженеры начали разрабатывать технические решения, которые позволили бы, сократить потребление ресурсов за счет применения возобновляемых энергоресурсов, таких как природные полимеры, или ресурсов в виде отходов с производств, которые могут быть заново использованы в других отраслях, например, в пищевой промышленности, занимающей в области упаковки пищевых продуктов сегмент до 85 %² (Alizadeh-Sani et al., 2021; Кирш и соавт., 2022; Литвяк, 2019).

Отрасль биоразлагаемых полимерных материалов за последние несколько лет достигла значительных шагов в развитии. В зависимости от типа разложения биodeградируемые полимерные материалы классифицируют на три основные группы (Балыхин и соавт., 2021; Карпунин и соавт., 2015):

- 1) биоразлагаемые полимеры — природные полимеры (целлюлоза, крахмал, отходы агропромышленного комплекса, свекловичная лузга, натуральный каучук, полигидроксibuтират, полибутиролактон, полимолочная кислота и т.д.);

- 2) полимеры, подверженные биодеструкции (сложные полиэфиры и полиамиды);
- 3) материалы, которые могут подвергаться биоэрозии — материалы на основе смесей или сополимеров синтетических полимеров с полимерами первой группы (полиэтилен с крахмалом и пр.).

Также выделяют классификацию биodeградируемых полимеров по их происхождению³ (Балыхин и соавт., 2021):

- 1) природные полимеры такие как крахмал, целлюлоза, хитозан, декстрин;
- 2) модифицированные природные полимеры, например, продукты взаимодействия полисахаридов с изоцианатами;
- 3) синтетические полимеры, полилактоны (поликапролактон, полибутиролактон), полилактиды (полимолочная кислота), кислоты полиаминов и их сополимеры.

На сегодняшний день активно создаются и исследуются полимерные материалы (ПМ), которым придается способность к биоразложению различными путями.

Можно выделить несколько технологий, направленных на придание традиционным ПМ способности к биоразложению (Балыхин и соавт., 2021; Kirsh et al., 2020):

1. Посредством введения в синтетический полимер добавок в виде отходов, производимых агропромышленными производственными комплексами (АПК), например, свекольный жом, овсяная лузга, шелуха гречихи, кукурузная мезга и др.
2. Получение композиционных материалов на основе синтетических и природных биоразлагаемых полимеров (крахмал, целлюлоза, полимолочная кислота и т.д.).
3. Введение в синтетические полимеры оксобиоразлагаемых добавок, содержащих соли переходных металлов, которые создают свободные радикалы, ведущие к появлению гидро- и пероксидов в различных формах, такие продукты способны в дальнейшем подвергаться биоразложению вместе с полимером^{4,5} (Литвяк, 2019; Мазитова и соавт., 2021). Данные добавки имеют ограничения и сегодня имеют запрет на применение во многих странах.

¹ Poly&Pro сообщество профессионалов. (2022). Производство пластмассовых изделий в России за год выросло на 7,7 %. https://polyprofi.ru/news/proizvodstvo_plastmassovykh_izdeliy_v_rossii_za_god_vyroslo_na_7_7.html

² Крутько, Э. Т., Прокопчук, Н. Р., & Глоба, А. И. (2014). *Технология биоразлагаемых полимерных материалов: учеб.-метод. пособие для студентов специальности 1–48 01 02 «Химическая технология органических веществ, материалов и изделий» специализации 1–48 01 02 04 «Технология пластических масс»*, (с. 65–69). БГТУ.

³ Классификация биоразлагаемых полимерных материалов. (2013). Мастерская своего дела. <https://3dbym.ru/2013/11/klassifikaciya-biorazlagaemyx-polimernyx-materialov/>

⁴ Сироткин, А. С., Лисюкова, Ю. В., Вдовина, Т. В., & Щербактова, Ю. В. (2017). *Биополимеры и перспективные материалы на их основе: учебное пособие*, (с. 86–98). Издательство КНИТУ.

⁵ Штильман, М. И. (2020). *Технология полимеров медико-биологического назначения. Полимеры природного происхождения: учебное пособие*, (с. 125–134). Лаборатория знаний.

В настоящее время широко развивается направление по созданию синтетических полимерных композиций с добавлением в них отходов с АПК (например, рисовая лузга, крахмал, гречневая лузга, свекловичные жом и др.), что приводит к появлению новых материалов способных к биоразложению. Примером такого материала может служить смесь полиэтилена высокого давления (ПЭВД) с полиэтиленом низкого давления (ПЭНД), наполненная лузгой семян подсолнечника (Шабарина и соавт., 2021). В результате проведенных исследований авторами статьи было установлено, что при введении лузги семян подсолнечника в полимерные композиции можно добиться улучшения реологических свойств, при незначительном изменении физико-механических свойств, а также достичь биоразлагаемости полимерных композиционных материалов.

Еще одним направлением, применяемым для придания полимерным материалам способности к биodeградации, является получение композиций на основе синтетических полимеров, в матрицу которых вводят биоразлагаемые природные полимеры, способные в определенный период времени подвергнуться разложению основной полимер. К природным полимерам относят целлюлозу, различные крахмалы, хитин, хитозан и другие вещества. Развитие данного направления получения БПК началось с создания материалов, наполненных полимерными углеводами, а именно различными видами крахмалов (Wei, 2016; Lim et al., 2012; Аунг, 2020; Кирш и соавт., 2020; Kirsh et al., 2019; Kirsh et al., 2019). В одной из научных статей (Ольхов и соавт., 2015) был разработан и исследован композиционный материал на основе полиэтилена и кукурузного крахмала. Авторы данной работы изготовили новую композицию, исследовали ее на различные технологические свойства, предложили способы переработки данного материала, а также на основании экспериментов предположили, что этот полимерный композиционный материал (ПКМ) будет являться биоразлагаемым.

Однако, такие БПК на основе синтетического полимерного материала с добавлением природного компонента разлагаются более 4 лет. Срок разложения биополимеров существенно меньше.

Биополимеры — это класс полимеров, встречающихся в природе в естественном виде и входящие в состав живых организмов⁶. По-другому биополимерами считаются природные полимеры, вырабатываемые клетками живых организмов. Как и синтетические полимеры они строятся из одинаковых или схожих мономерных звеньев. Поэтому биополимеры в зависимости от состава делят на регулярные и нерегулярные соединения.

Биополимеры на данный момент имеют широкое применение во многих областях деятельности человека, включая биомедицинскую инженерию, упаковочное производство, пищевую промышленность и сельхозпроизводство. В упаковочной отрасли при производстве упаковочных материалов наибольшее распространение имеет класс полисахаридов, яркими представителями которого являются крахмал, целлюлоза и хитозан^{7,8,9} (Ilyas et al., 2018).

Целлюлоза — это органическое соединение, природный полисахарид, являющийся частью и структурным компонентом клеточных стенок растений. Основными известными источниками целлюлозы служат деревья хвойных и лиственных пород, а также хлопчатник. В растениях протекают сложные биохимические реакции, которые начинаются с фотосинтеза моносахаридов, в результате чего происходит образование целлюлозы¹⁰ (Virendra et al., 1981). Физико-химические, физические и химические свойства целлюлозы зависят от ее химического строения и физической структуры. Целлюлоза по физическому состоянию¹¹ представляет собой бесцветный волокнистый материал, плотность которого находится в диапазоне от 1,52 до 1,54 г/см³. Достоинствами целлюлозного волокна по сравнению с синтетическими волокнами являются большая гигроскопичность, более высокая термостойкость, более низкая стоимость и лучшие гигиенические свойства; недостатками являются горючесть, невысокая эластичность, малая устойчивость к действию микроорганизмов (Ершова & Чупрова, 2016).

Целлюлоза привлекла к себе значительное внимание как наиболее сильное потенциальное сырье для произ-

⁶ Сироткин, А. С., Лисюкова, Ю. В., Вдовина, Т. В., & Щербакова, Ю. В. (2017). *Биополимеры и перспективные материалы на их основе: учебное пособие*, (с. 86–98). Издательство КНИТУ.

⁷ Штильман, М. И. (2020). *Технология полимеров медико-биологического назначения. Полимеры природного происхождения: учебное пособие*, (с. 125–134). Лаборатория знаний.

⁸ Смирнова, А. И., & Антонова, В. С. (2020). *Прикладная химия природных соединений: учеб. Пособие*, (с. 65–71). ВШТЭ СПбГУПТД.

⁹ Крутько, Э. Т., Прокопчук, Н. Р., & Глоба, А. И. (2014). *Технология биоразлагаемых полимерных материалов: учеб.-метод. пособие для студентов специальности 1–48 01 02 «Химическая технология органических веществ, материалов и изделий» специализации 1–48 01 02 04 «Технология пластических масс»*, (с. 65–69). БГТУ.

¹⁰ Терентьева, Э. П., Удовенко, Н. К., & Павлова, Е. А. (2014). *Химия древесины, целлюлозы и синтетических полимеров: учебное пособие*, (с. 37–42). СПбГТУРП. Ч. 1.

¹¹ Соколова, Н. А., Кочетков, В. Г., Новопольцева, О. М., & Каблов, В. Ф. (2018). *Химия биополимеров: учебно-методическое пособие*, (с. 23–27). ВолгГТУ.

водства полимерных материалов на биологической основе. За последнее десятилетие достигнут значительный прогресс в производстве биополимеров на основе различных форм целлюлозы. Использование волокон целлюлозы, наноцеллюлозы и производных целлюлозы в качестве наполнителей или матриц в биокомпозитных материалах является эффективной биоустойчивой альтернативой для производства высококачественных полимерных композитов и функциональных полимерных материалов. Использование мономеров, полученных из целлюлозы (глюкоза и другие химические вещества платформы) в синтезе устойчивых биополимеров и функциональных полимерных материалов не только обеспечивает жизнеспособную замену большинству полимеров на нефтяной основе, но также позволяет разрабатывать новые полимеры и функциональные полимерные материалы (Shaghaleh et al., 2018).

В настоящее время активно ведется поиск биоразлагаемых материалов с ускоренным сроком разложения в окружающей среде. Такие материалы целесообразно использовать для одноразовой посуды, упаковки продуктов с коротким сроком реализации. Биоразлагаемые материалы должны соответствовать требованиям, предъявляемым к упаковке пищевых продуктов согласно ТР ТС 005/2011 «О безопасности упаковки», а также по уровню физико-механических, барьерных характеристик для реализации процесса упаковывания пищевых продуктов и одноразовой посуды.

Сегодня на рынке не представлены упаковочные материалы и одноразовая посуда со сроком разложения менее 5 месяцев. В основном, присутствуют изделия из полимерных композиций на основе биополимеров, картонные упаковки с покрытием, которые имеют срок разложения более 5 месяцев, а также макулатурные картонные коробки, которые имеют ограничения по использованию для прямого доступа к пищевому продукту, готовому к употреблению^{12,13,14}. Одноразовая посуда представлена из полимерных композитов, которая имеет маркировку «биоразлагаемая», в основном, только как элемент маркетинга и гринвошинга^{15,16}.

В связи с этим, исследование целлюлозосодержащих композиций и изделий с целью определения возможно-

сти их использования в качестве упаковочных материалов пищевых продуктов и одноразовой посуды является актуальным и перспективным. Целью работы является исследование целлюлозосодержащих материалов и изделий для определения возможности их использования в качестве упаковочных материалов пищевых продуктов и одноразовой посуды.

В работе были поставлены следующие задачи:

- (1) исследовать физико-механические свойства целлюлозосодержащих материалов и изделий из них;
- (2) провести исследования барьерных и санитарно-химических свойств целлюлозосодержащих материалов и изделий;
- (3) установить сроки разложения целлюлозосодержащих материалов и изделий из них;
- (4) определить перспективу использования исследуемых материалов для упаковки пищевых продуктов и одноразовой посуды.

МЕТОДЫ

Материалы исследования

В качестве объектов исследования были выбраны такие материалы, как:

- 1) материал на основе из мискантуса (в виде тарелок и подложек, листов), внешний вид представлен на Рисунке 1 (а);
- 2) в качестве контрольного образца были использован материал на основе беленой целлюлозы (далее материал из древесной целлюлозы), внешний вид представлен на Рисунке 1 (б).

Все образцы изделий предоставлены ООО «НПО «Биотехкомпозит-Дулево».

Работа выполнялась в ЦКП «Перспективные упаковочные решения и технологии рециклинга» в ФГБОУ ВО «Российский биотехнологический университет (РОСБИОТЕХ)».

¹² ТампоМеханика. (2023). Биополимеры для одноразовой посуды. <https://www.bio.tampomechanika.ru/biorazlagaemaya-odnorazovaya-posuda/>

¹³ ЕКОFRIEND. (2023). Экопосуда: опыт других стран и 10 альтернатив одноразовому пластику. <https://ekofriend.com/articles/ekoposuda/ekoposuda-opyt-drugih-stran-i-10-alternativ-odnorazovomu-plastiku>

¹⁴ В-MAG деловая жизнь сегодня. (2023). 4 шага для производства биоразлагаемой одноразовой посуды. <https://b-mag.ru/4-shagadlja-proizvodstva-biorazlagaemoj-odnorazovoj-posudy/>

¹⁵ РБК. (2020). Биопластик — новейшая форма гринвошинга: исследование «Гринпис». <https://trends.rbc.ru/trends/green/5db996019a794769ca92d0d2>

¹⁶ Зеленый. (2021). Что такое гринвошинг: как отличить настоящую экопродукцию от «зелёного» пиара. <https://green.reo.ru/articles/post/to1nakk2d1-cto-takoe-grinvoshing-kak-otlichit-nast>

Рисунок 1

Внешний вид целлюлозосодержащих материалов (а – материал из мискантуса; б – материал из древесной целлюлозы)



Методы исследования

В работе использовались следующие методы испытания:

- определение физико-механических свойств материалов проводили в соответствии с ГОСТ 20683–97 «Картон тарный. Сопротивление торцевому сжатию», ГОСТ 9895–2013 «Определение сопротивлению сжатия. Метод испытания на коротком расстоянии», ГОСТ 304360–96 «Бумага и картон. Определение прочности при растяжении» на универсальной разрывной машине ИТС 8111, ГОСТ 14236–81 «Пластмассы. Метод испытания полимерных пленок на растяжение» на следующих приборах: разрывная машина РМ-50 – при скорости растяжения 100 мм/мин;
- определение газопроницаемости по кислороду полимерных материалов проводили в соответствии с ASTM D1434–82(2003), ГОСТ 23553 на газовом хроматографе Кристалл 5000 и на приборе Perme OX2/231 V1.0 (Labthink) при температуре 23 ± 2 °C;
- определение жиростойкости исследуемых образцов (ГОСТ 16532–2–2016 «Бумага и картон. Определение жиростойкости. Часть 2. Определение отталкивающей способности поверхности»). Суть метода состоит в определении степени проникновения жиров через испытуемый материал за отведенный период времени. Результатом испытания устанавливалась стойкость образцов к растворам жиров;
- исследование миграции низкомолекулярных веществ проводили на газовом хроматографе «Кристаллюкс 4000М» с капиллярными колонками ZB-WAX 60 × 0,53 × 1,0 и ZB-624 60 × 0,53 × 3,0, использовался метод контроля 4.1.3166–2014;
- изменение массы образца при контакте с водой проводили по ГОСТ 12605–97 «Бумага и картон. Метод определения поверхностной впитываемости воды при одностороннем смачивании (метод Кобба)»;

- метод определения стойкости к действию химических сред ГОСТ Р 54530–2011 «Ресурсосбережение. Упаковка. Требования, критерии и схема утилизации упаковки посредством компостирования и биологического разложения». Метод состоит в определении изменений характеристик материала, таких как внешний вид, масса и размеры под действием жидких химических сред. Образцы помещались в раствор биогумуса на 8 недель. Их взвешивание и оценивание внешнего вида производилось один раз в неделю;
- метод компостирования на определение биodeградации полимерной композиции (Британский стандарт BSEN 13432:2000 «Упаковка. Требования к использованию упаковки посредством компостирования и биологического разложения»). Сущность метода заключается в определении способности испытательных образцов к биodeградации под действием микробной почвы при определенной температуре и влажности. При проведении данного метода применялась земля, активированная биогумусом в соответствии с ТУ 0391–11158096-2002 и влажностью 60 %. Компостирование исследуемых материалов проводилось в течение 3 месяцев (до полного разложения). Способность к биоразложению образцов оценивали по происходящим внешним изменениям характеристик.

Анализ данных

Статистическую обработку результатов проводили с использованием программы IBM SPSS Statistics Ver. 20 (SPSS Inc. США). Погрешность числовых значений не превышает 6 %. Повторности экспериментов составили 10 исследуемых образцов на одну точку.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

На сегодняшний день на сегменте рынка упаковочной отрасли не представлены упаковки и одноразовая посуда, которая бы биodeградировала в окружающей среде менее 5 месяцев. Большинство на сегодняшний день представлены изделиями из полимерных композиционных материалов на основе упаковки из картона с покрытием, а также биопластика, которые разлагаются более 5 месяцев. Кроме того, существует макулатурная картонная упаковка, которая имеет ограничения для прямого использования к продуктам питания готовыми к употреблению. Сегодня одноразовая посуда чаще всего производится из полимерных материалов, при этом она имеет маркировку «биоразлагаемая (или компостируемая)», в основном, только как элемент маркетинга и гринвошинга.

В результате проведенного литературного обзора, было установлено, что наиболее перспективное направление связано с разработкой материалов со сроком компостирования до 5 месяцев, поэтому были проведены исследования образцов из растительной биомассы на основе мискантуса. Ранее не было проведено исследований материалов из мискантуса на такие показатели, как определение барьерных и санитарно-гигиенических свойств, биodeградации материала.

Мискантус относится к роду многолетних травянистых растений семейства злаковых. Он относится к нетрадиционным возобновляемым источником сырья и энергии, получение которых не требует значительных капитальных вложений. Мискантус неприхотлив, устойчив к засухе, морозостоек, дает большой урожай 10–30 т/га в год, способен произрастать на одном месте более 20 лет без существенного снижения продуктивности. Одним из достоинств данной культуры является, что она может произрастать длительное время на низкопродуктивных землях, что обеспечивает более высокую экономическую отдачу использования таких угодий (Капустянчик & Якименко, 2020; Будаева и соавт., 2011; Косточко и соавт., 2010; Gismatulina et al., 2015; Tu et al., 2020).

Определение физико-механических свойств

На первом этапе работы были проведены исследования физико-механических свойств образцов, результаты представлены в Таблице 1.

В результате установлено, что исследуемые образцы имеют высокие показатели физико-механических свойств. Определено, что материал из мискантуса имеет более высокие показатели физико-механических свойств по сравнению с целлюлозосодержащим материалом из древесины.

Таблица 1
Физико-механические свойства целлюлозосодержащих материалов

Показатель физико-механических свойств, ГОСТ	Наименование образца, толщина	
	Материал из древесной целлюлозы, 535 мкм	Материалы из мискантуса, 690 мкм
Разрушающее напряжение, МПа, ГОСТ 14236–81	9,52 ± 1,5	9,59 ± 1,5
Относительное удлинение при разрыве, %, ГОСТ 14236–81	5,87 ± 0,5	4,56 ± 0,5
Прочность при растяжении, кН/м, ГОСТ 304360	Более 4,4 ± 0,5 (появление ломкости, разрушения нет)	Более 5,5 ± 0,5 (появление ломкости, разрушения нет)
Сопротивление торцевому сжатию, кН/м, ГОСТ 20683	0,38 ± 0,02	0,56 ± 0,02
Сопротивление сжатию, кН/м, ГОСТ 9895	3,23 ± 0,5	5,36 ± 0,5

Исследование на качественные характеристики материалов

Далее определяли качественные характеристики целлюлозосодержащих материалов. Результаты представлены в Таблице 2. На основании проведенных исследований образцов на основе из целлюлозосодержащих материалов было определено, что изделия имеют удовлетворительное качество: дефектов нет, повреждений нет, включений нет. Определена плотность материалов: данный показатель имеет большее значение для образцов материала из мискантуса, при этом значение водопоглощения у них ниже.

Исследования санитарно-химических показателей

Далее проводили оценку санитарно-гигиенических свойств, исследуемых образцов согласно ТР ТС 005/2011. Образцы целлюлозных материалов помещались в модельную среду (дистиллированная вода) на 3, 7 и 21 сутки для получения вытяжек. Оценка водных вытяжек органолептическим методом на протяжении всего периода испытания показала, что образцы не выделяют посторонних запахов. Водная вытяжка не имеет запаха, не меняет цвет и прозрачность на всем протяжении эксперимента, что является основанием для разрешения данных материалов для контакта с пищевыми продуктами.

Кроме того, полученные вытяжки исследовали на газовом хроматографе «Кристаллюкс 4000М» с капиллярными

Таблица 2

Характеристики качества исследуемых целлюлозосодержащих материалов

Показатель качества	Наименование образца, толщина	
	Материал из древесной целлюлозы, 535 мкм	Материал из мискантуса, 690 мкм
Внешний вид	Дефектов нет, повреждений нет	Дефектов нет, повреждений нет
Наличие посторонних включений	Не обнаружено	Не обнаружено
Плотность, г/м ²	324 ± 2	342 ± 2
Влажность, %	3,81 ± 0,2	4,37 ± 0,2
Водопоглощение, г/м ²	203 ± 2	161 ± 2

колонками ZB-WAX 60 × 0,53 × 1,0 и ZB-624 60 × 0,53 × 3,0, использовался метод контроля 4.1.3166–2014». Газохроматографическое определение гексана, гептана, ацетальдегида, ацетона, метилацетата, этилацетата, метанола, изопропанола, акрилонитрила, н-пропанола, н-пропилацетата, бутилацетата, изобутанола, н-бутанола, бензола, толуола, этилбензола, м-, о- и п-ксилолов, изопропилбензола, стирола, -метилстирола в воде и водных вытяжках из материалов. По результатам испытания определено соответствие образцов нормам согласно ТР ТС 005/2011.

Исследования на барьерные свойства материалов

Далее проводили оценку барьерных свойств исследуемых образцов. В результате установлено, что прони-

цаемость для паров воды, по кислороду, а также жиростойкость всех исследуемых образцов невысокая, что показано в Таблице 3.

Наиболее значимые характеристики для упаковочных материалов являются барьерные свойства, которые включают в себя такие показатели, как жиро-, паро- и газопроницаемость. Следует отметить тот факт, что паропроницаемость и кислородопроницаемость материалов из мискантуса ниже примерно в 1,5–2 раза, чем у образцов из древесной целлюлозы. Таким образом, материал на основе древесной целлюлозы, а также материал из мискантуса являются нежиростойкими, и не рекомендуются для пищевых продуктов с высоким содержанием жира.

Определение биodeградации материалов

На следующем этапе проводили исследования на биоразложение целлюлозосодержащих материалов.

При исследовании образцов в жидкой среде биогумус было отмечено, что образцы из древесной целлюлозы и из мискантуса разложились в модельной среде на 8 неделе.

Методом компостирования было установлено, что за первые 7 дней материалы на основе мискантуса теряют 42 % массы, а на основе древесной целлюлозы — 34 %. За 14 дней измерить массу образцов практически не представляется возможным, поскольку обнаруживаются лишь отдельные фрагменты и на поверхности почвы, а также наблюдается развитие микроорганизмов. На Рисунке 2 представлен график динамики биоразложения по процентному изменению массы.

Определено, что за 6 недель компостирования образцы материалов из мискантуса разлагаются полностью, при этом не остается даже фрагментов образцов. В свою очередь образцы материалов из древесной целлюлозы

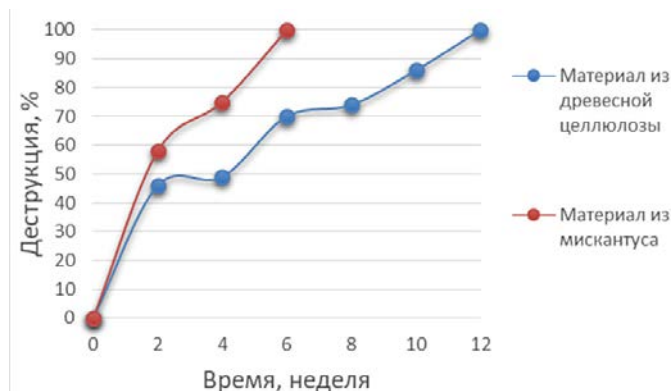
Таблица 3

Барьерные свойства исследуемых образцов

Показатель барьерных свойств, ед. измерения	Наименование образца, толщина	
	Материал из древесной целлюлозы, 535 мкм	Материал из мискантуса, 690 мкм
Паропроницаемость, г/см ² за 24 часа при 23 °С	0,025 × 0,001	0,014 × 0,001
Паропроницаемость, г/см ² за 24 часа при 38 °С	0,53 × 0,02	0,36 × 0,02
Проницаемость по кислороду, мл/м ² при 23 °С	583,9 × 2	448,7 × 2
Жиростойкость (модельная среда — рафинированное растительное масло, подкрашенное пищевым красителем «Судан», плотность 917 кг/м ³ (при 20 °С), динамическая вязкость 919 МПа·с (при 20 °С), наносили по 1 капле — 0,3–0,5 мл.	Моментальное впитывание поверхностью модельной среды	Моментальное впитывание поверхностью модельной среды

Рисунок 2

График динамики биоразложения по процентному изменению массы



достигли полного биоразложения после 12 недели. Установлено, что даже в условиях ограничения доступа кислорода воздуха (модель полигон) образцы разлагаются полностью в течение 4 месяцев без образования фрагментов изделий или волокон.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На основании проведенных исследований качества целлюлозосодержащих материалов определено, что качество изделий удовлетворительное. Плотность материалов из мискантуса несколько выше, чем у материалов на основе древесной целлюлозы. Установлено, что исследуемые образцы имеют высокие показатели деформационно-прочностных характеристик. Определено, что материал на основе мискантуса имеют более высо-

кие физико-механические свойства по сравнению с образцами материалов из древесной целлюлозы.

По результатам проведенных исследований определено соответствие образцов целлюлозосодержащих материалов нормам ТР ТС 005/2011. Установлено, что паропроницаемость и проницаемость по кислороду материалов из мискантуса ниже примерно в 1,5–2 раза, чем у образцов из древесной целлюлозы. Так же выявлено, что образцы целлюлозосодержащих материалов разлагаются полностью в течение 3 месяцев, при этом не остается даже фрагментов материалов, а материал из мискантуса разлагается быстрее за 6 недель. Более того, установлено, что при разложении на полигоне (без доступа кислорода) исследуемые образцы разлагаются полностью за 4 месяца без образования фрагментов изделий или волокон.

В результате проведенных исследований, данные целлюлозосодержащие материалы можно использовать в качестве упаковочных материалов пищевых продуктов и одноразовой посуды.

ВКЛАД АВТОРОВ

Кириш И. А.: Концептуализация, разработка методологии исследования, руководство исследованием

Тверитникова И. С.: Курирование данных, верификация данных, написание-рецензирование и редактирование рукописи

Баталова В.В.: Проведение исследования, создание черновика рукописи

ЛИТЕРАТУРА

- Аунг, Х. Т. (2020). *Получение композиционных материалов на основе продуктов переработки рисовой шелухи* [Кандидатская диссертация, РХТУ]. Москва, Россия.
- Балыхин, М. Г., Кириш, И. А., Губанова, М. И., Банникова, О. А., Безнаева, О. В., Чалых, А. Е., Щербина, А. А., Иорданский, А. Л., Ольхов, А. А., Щетинин, М. П., & Музыка, М. Ю. (2021). *Рециклинг упаковки и биоразлагаемые полимерные материалы: монография*, (с.120–190). Проспект.
- Будаева, В. В., Митрофанов, Р. Ю., Золотухин, В. Н., & Сакович, Г. В. (2011). Новые сырьевые источники целлюлозы для технической химии. *Вестник казанского технологического университета*, (7), 205–212.
- Ершова, О. В., & Чупрова, Л. В. (2016). Способы химической модификации целлюлозы с целью создания новых композиционных материалов. *Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований*, (10), 359–362.
- Капустянчик, С. Ю., & Якименко, В. Н. (2020). Мискантус — перспективная сырьевая, энергетическая и фитомелиоративная культура (литературный обзор). *Почвы и окружающая среда*, 3(3), 10–24. <https://doi.org/10.31251/pos.v3i3.126>
- Карпунин, И. И., Кузьмич, В. В., & Балабанова, Т. Ф. (2015). Классификация биологически разлагаемых полимеров. *Наука и техника*, (5), 53–59.
- Кириш, И. А., Овсянников, С. А., Безнаева О. В., Банникова, О. А., Губанова, М. И., Новиков, М. Н., Тверитникова, И. С. (2022). Перспективы повторной переработки отходов одноразовой упаковки. *Health, Food & Biotechnology*, 4(2), 31–47. <https://doi.org/10.36107/hfb.2022.i2.s149>

- Кирш, И. А., Романова, В. А., Тверитникова, И. С., Безнаева, О. В., Банникова, О. А., & Шмакова Н. С. (2020). Исследования влияния ультразвуковой обработки на расплавы полимерных композиций на основе полиэтилена и модифицированного крахмала. *Химическая промышленность сегодня*, (1), 62–67.
- Косточко, А. В., Шипина, О. Т., Валишина, З. Т., Гараева, М. Р., & Александров, А. А. (2010). Получение и исследование свойств целлюлозы из травянистых растений. *Вестник Казанского технологического университета*, (9), 267–275.
- Литвяк, В. В. (2019). Перспективы производства современных упаковочных материалов с применением биоразлагаемых полимерных композиций. *Журнал Белорусского государственного университета. Экология*, (2), 84–94.
- Мазитова, А. К., Аминова, Г. К., Зарипов, И. И., & Вихарева, И. Н. (2021). Биоразлагаемые полимерные материалы и модифицирующие добавки: современное состояние. Часть II. Нанотехнологии в строительстве, 13, 32–38. <https://doi.org/10.15828/2075–8545-2021–13–1–32–38>
- Ольхов, А. А., Попов, А. А., Ольхов, А. А., Григорьева, Е. А., Хватов, А. В., & Абзальдинов, Х. С. (2015). Технологические свойства биоразлагаемых композиционных материалов на основе полиэтилена и крахмала. *Вестник Казанского технологического университета*, 16, 105–109.
- Шабарина, А. А., Кузьмин, А. М., Водяков, В. Н., & Шабарин, И. А. (2021). Получение биоразлагаемых композиционных материалов на основе полиолефинов и лузги из семян подсолнечника. *Известия высших учебных заведений. Химия и химическая технология*, (4), 73–76. <https://doi.org/10.6060/ivkkt.20216404.6283>
- Alizadeh-Sani, M., Azizi-Lalabadi, M., Tavassoli, M., Mohammadian, E., & McClements, D.J. (2021). Recent Advances in the Development of Smart and Active Biodegradable Packaging Materials. *Nanomaterials*, 11(5), 1331. <https://doi.org/10.3390/nano11051331>
- Gismatulina, Yu. A., Budaeva, V. V., Veprevb, S. G., Sakovich, G. V., & Shumnyb, V. K. (2015). Cellulose from Various Parts of Soranovskii Miscanthus. *Russian Journal of Genetics: Applied Research*, 1(5), 60–68. <https://doi.org/10.1134/S2079059715010049>
- Ilyas, R., Sapuan, S., Ishak, M., & Zainudin, E. (2018). Sugar palm nanocrystalline cellulose reinforced sugar palm starch composite: Degradation and water-barrier properties. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 368, 012006. <https://doi.org/10.1088/1757–899X/368/1/012006>
- Kirsh, I. A., Beznaeva, O. V., Bannikova, O. A., Romanova, V. A., & Barulya, I. V. (2019). Biodegradable polymer compositions based on the waste of the agro-industrial complex. *Bioscience Biotechnology Research Communications*, S5(12), 196–202.
- Kirsh, I. A., Beznaeva, O. V., Bannikova, O. A., Romanova, V. A., & Barulya, I. V. (2019). Development of biodegradable polymer compositions based on the waste of the agro-industrial complex. *International Journal of Advanced Biotechnology and Research*, 2(10), 15–23.
- Kirsh, I., Bannikova, O., Beznaeva, O., Tveritnikova, I., Romanova, V., Zagrebina, D., Frolova, Y., & Myalenko, D. (2020). Research of the influence of the ultrasonic treatment on the melts of the polymeric compositions for the creation of packaging materials with antimicrobial properties and biodegradability. *Polymers*, 2(12), 275. <https://doi.org/10.3390/polym12020275>
- Lim, J. S., Mana, Z. A., Alwi, S. R. W, & Hashim, H. (2012). A review on utilization of biomass from rice industry as a source of renewable energy. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 16, 3084–3094. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2012.02.051>
- Shaghaleh, H., Xu, X., & Wang, S. (2018). Current progress in production of biopolymeric materials based on cellulose, cellulose nanofibers, and cellulose derivatives. *The Royal Society of Chemistry*, 8, 825–842. <https://doi.org/10.1039/C7RA11157F>
- Tu, W.-C., Weigand, L., Hummel, M., Sixta, H., Brandt-Talbot, A., & Hallett, J. P. (2020). Characterisation of cellulose pulps isolated from Miscanthus using a low-cost acidic ionic liquid. *Cellulose*, 27, 4745–4761. <https://link.springer.com/article/10.1007/s10570–020–03073–1>
- Virendra, S. B., & Tarun, K. G. (1981). Biodegradation of cellulosic materials: Substrates, microorganisms, enzymes and products. *Enzyme and Microbial Technology*, 2(3), 94–104 [https://doi.org/10.1016/0141–0229\(81\)90066–1](https://doi.org/10.1016/0141–0229(81)90066–1)
- Wei, Z. (2016). Comprehensive Applications of Rice Husk Biomass Master's. *Theses*, 1033.

REFERENCES

- Aung, H. T. (2020). *Obtaining composite materials based on rice husk processing products* [Candidate Dissertation, RCTU]. Moscow, Russia.
- Balykhin, M. G., Kirsh, I. A., Gubanova, M. I., Bannikova, O. A., Beznaeva, O. V., Chalykh, A. E., Shcherbina, A. A., Iordansky, A. L., Olkhov, A. A., Shchetinin, M. P., & Muzyka, M. Yu. (2021). *Recikling upakovki i biorazlagaemye polimernye materialy: monografiya* (p. 120–190). Prospect.
- Budaeva, V. V., Mitrofanov, R. Yu., Zolotukhin, V. N., & Sakovich, G. V. (2011). New raw materials of cellulose for technical

- chemistry. *Vestnik kazanskogo tekhnologicheskogo universiteta*, (7), 205–212.
- Ershova, O. V., & Chuprova, L. V. (2016). Methods for the chemical modification of cellulose in order to create new composite materials. *Mezhdunarodnyj zhurnal prikladnyh i fundamental'nyh issledovanij*, (10), 359–362.
- Kapustianchik, S. Yu., & Yakimenko, V. N. (2020). Miscanthus is a promising raw material, energy and phytomeliorative crop (literature review). *Pochvy i okruzhayushchaya sreda*, 3(3), 10–24. <https://doi.org/10.31251/pos.v3i3.126>
- Karpunin, I. I., Kuzmich, V. V., & Balabanova, T. F. (2015). Classification of biodegradable polymers. *Nauka i tekhnika*, (5), 53–59.
- Kirsh, I. A., Ovsyannikov, S. A., Beznaeva, O. V., Bannikova, O. A., Gubanova, M. I., Novikov, M. N., & Tveritnikova, I. S. (2022). Prospects for the Recycling of Disposable Packaging Waste. *Health, Food & Biotechnology*, 4(2), 31–47. <https://doi.org/10.36107/hfb.2022.i2.s149>
- Kirsh, I. A., Romanova, V. A., Tveritnikova, I. S., Beznaeva, O. V., Bannikova, O. A., & Shmakova N. S. (2020). Studies of the effect of ultrasonic treatment on melts of polymer compositions based on polyethylene and modified starch. *Himicheskaya promyshlennost' segodnya*, (1), 62–67.
- Kostochko, A. V., Shipina, O. T., Valishina, Z. T., Garaeva, M. R., & Alexandrov, A. A. (2010). Preparation and study of the properties of cellulose from herbaceous plants. *Vestnik kazanskogo tekhnologicheskogo universiteta*, (9), 267–275.
- Litvyak, V. V. (2019). Prospects for the production of modern packaging materials using biodegradable polymer compositions. *Zhurnal Belorusskogo gosudarstvennogo universiteta. Ekologiya*, (2), 84–94.
- Mazitova, A. K., Aminova, G. K., Zaripov, I. I., & Vikhareva, I. N. (2021). Biodegradable polymeric materials and modifying additives: state of the art. Part II. *Nanotekhnologii v stroitel'stve*, 13, 32–38. <https://doi.org/10.15828/2075-8545-2021-13-1-32-38>
- Olkhov, A. A., Popov, A. A., Olkhov, A. A., Grigorieva, E. A., Khvatov, A. V., & Abzal'dinov, H. S. (2015). Technological properties of biodegradable composite materials based on polyethylene and starch. *Vestnik kazanskogo tekhnologicheskogo universiteta*, 16, 105–109.
- Shabarina, A. A., Kuzmin, A. M., Vodyakov, V. N., & Shabarin, I. A. (2021). Obtaining biodegradable composite materials based on polyolefins and husks from sunflower seeds. *Izvestiya vysshih uchebnyh zavedenij. Himiya i himicheskaya tekhnologiya*, (4), 73–76. <https://doi.org/10.6060/ivkkt.20216404.6283>
- Alizadeh-Sani, M., Azizi-Lalabadi, M., Tavassoli, M., Mohammadian, E., & McClements, D.J. (2021). Recent Advances in the Development of Smart and Active Biodegradable Packaging Materials. *Nanomaterials*, 11(5), 1331. <https://doi.org/10.3390/nano11051331>
- Gismatulina, Yu. A., Budaeva, V. V., Veprevb, S. G., Sakovicha, G. V., & Shumnyb, V. K. (2015). Cellulose from Various Parts of Soranovskii Miscanthus. *Russian Journal of Genetics: Applied Research*, 1(5), 60–68. <https://doi.org/10.1134/S2079059715010049>
- Ilyas, R., Sapuan, S., Ishak, M., & Zainudin, E. (2018). Sugar palm nanocrystalline cellulose reinforced sugar palm starch composite: Degradation and water-barrier properties. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 368, 012006. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/368/1/012006>
- Kirsh, I. A., Beznaeva, O. V., Bannikova, O. A., Romanova, V. A., & Barulya, I. V. (2019). Biodegradable polymer compositions based on the waste of the agro-industrial complex. *Bioscience Biotechnology Research Communications*, S5(12), 196–202.
- Kirsh, I. A., Beznaeva, O. V., Bannikova, O. A., Romanova, V. A., & Barulya, I. V. (2019). Development of biodegradable polymer compositions based on the waste of the agro-industrial complex. *International Journal of Advanced Biotechnology and Research*, 2(10), 15–23.
- Kirsh, I., Bannikova, O., Beznaeva, O., Tveritnikova, I., Romanova, V., Zagrebina, D., Frolova, Y., & Myalenko, D. (2020). Research of the influence of the ultrasonic treatment on the melts of the polymeric compositions for the creation of packaging materials with antimicrobial properties and biodegradability. *Polymers*, 2(12), 275. <https://doi.org/10.3390/polym12020275>
- Lim, J. S., Mana, Z. A., Alwi, S. R. W., & Hashim, H. (2012). A review on utilization of biomass from rice industry as a source of renewable energy. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 16, 3084–3094. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2012.02.051>
- Shaghaleh, H., Xu, X., & Wang, S. (2018). Current progress in production of biopolymeric materials based on cellulose, cellulose nanofibers, and cellulose derivatives. *The Royal Society of Chemistry*, 8, 825–842. <https://doi.org/10.1039/C7RA11157F>
- Tu, W.-C., Weigand, L., Hummel, M., Sixta, H., Brandt-Talbot, A., & Hallett, J. P. (2020). Characterisation of cellulose pulps isolated from Miscanthus using a low-cost acidic ionic liquid. *Cellulose*, 27, 4745–4761. <https://link.springer.com/article/10.1007/s10570-020-03073-1>
- Virendra, S. B., & Tarun, K. G. (1981). Biodegradation of cellulosic materials: Substrates, microorganisms, enzymes and products. *Enzyme and Microbial Technology*, 2(3), 94–104. [https://doi.org/10.1016/0141-0229\(81\)90066-1](https://doi.org/10.1016/0141-0229(81)90066-1)
- Wei, Z. (2016). Comprehensive Applications of Rice Husk Biomass Master's. *Theses*, 1033.

Комплексная технология получения сырокопченых изделий пролонгированного срока хранения с пониженной концентрацией нитрита натрия

Т. Н. Данильчук, Д. Е. Ипатов

Российский биотехнологический университет («РОСБИОТЕХ»),
Москва, Россия

Корреспонденция:

Ипатов Дмитрий Евгеньевич,
Российский биотехнологический университет (РОСБИОТЕХ),
125080, Россия, г. Москва,
Волоколамское шоссе, 11
E-mail: d.ipatov@profi.bio

Конфликт интересов:

авторы сообщают об отсутствии конфликта интересов.

Поступила: 06.07.2023

Поступила после
рецензирования: 13.09.2023

Принята: 21.09.2023

Copyright: © 2023 Авторы

АННОТАЦИЯ

Введение. Спрос на мясные сырокопченые и сыровяленые продукты из свинины стабильно возрастает, что обуславливает разработку технологии, обеспечивающей стабильное качество готовой продукции в условиях нестабильности свойств исходного сырья.

Цель. Целью данной статьи является описание разработки технологии сырокопченых изделий пролонгированного срока хранения с пониженной концентрацией нитрита натрия с применением новых видов стартовых культур и натурального цитрусового экстракта.

Материалы и методы. Объектами исследования являлись образцы мясных изделий из свинины (карбонад и грудинка), изготовленные с применением постферментативной термообработки, ферментированные с добавлением коммерческих стартовых культур (B-LC-78, Rosa, Easy Cure) от компании Chr. Hansen (Дания) и с добавлением композиции натуральных экстрактов цитрусовых.

Результаты. Авторами приведены экспериментальные данные по сенсорной оценке, микробиологическим исследованиям и анализу активности воды сырокопченых мясных продуктов, полученных с использованием комплексной технологии. Установлено, что применение композиции экстрактов цитрусовых позволяет улучшить цвет готового продукта и снизить содержание нитрита натрия, способствует пролонгации сроков хранения готовых продуктов. Даны практические рекомендации по подбору стартовых культур и технологических параметров постферментативной термообработки для производства отдельных видов мясных продуктов из свинины.

Выводы. Разработанная технология позволяет стабилизировать показатели качества мясных изделий и сократить продолжительность производственного цикла. Наиболее предпочтительной для производства сырокопченого карбонада является стартовая культура Rosa, а для производства сырокопченной грудинки – стартовая культура Easy Cure. Композиция экстрактов цитрусовых обладает антимикробной активностью и подходит для использования в производстве мясных сырокопченых продуктов. Показан потенциал применения композиции натуральных экстрактов цитрусовых в технологии мясных сырокопченых продуктов с постферментативной термообработкой для улучшения органолептических свойств, снижения нитрита натрия и пролонгации сроков хранения готовых продуктов.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА

стартовые культуры, натуральные экстракты, сырокопченые мясные изделия, термообработка, ферментирование, сенсорная оценка



Для цитирования: Данильчук, Т. Н., & Ипатов Д. Е. (2023). Комплексная технология получения сырокопченых изделий пролонгированного срока хранения с пониженной концентрацией нитрита натрия. *Health, Food & Biotechnology*, 5(2), 39-50. <https://doi.org/10.36107/hfb.2023.i2.s170>

<https://doi.org/10.36107/hfb.2023.i2.s170>

Complex Technology for the Production of Smoked Products of Prolonged Shelf Life with a Reduced Concentration of Sodium Nitrite

Tatiana N. Danilchuk, Dmitry E. Ipatov

Russian Biotechnological University
(BIOTECH University), Moscow, Russia

Correspondence:

Dmitry E. Ipatov

Russian Biotechnological University,
11, Volokolamskoe highway, Moscow,
125080, Russia

E-mail: d.ipatov@profi.bio

Declaration of competing interest:

none declared.

Received: 06.07.2023

Received in revised form: 13.09.2023

Accepted: 21.09.2023

Copyright: © 2023 The Authors

ABSTRACT

Introduction. The demand for smoked and cured pork meat products is steadily increasing. Particularly relevant is the development of technology that ensures stable quality of finished products in conditions of instability of the properties of the raw materials.

Purpose. The purpose of this article is to describe the development of technology for smoked products of prolonged shelf life with a reduced concentration of sodium nitrite using new types of starter cultures and natural citrus extract.

Materials and Methods. The objects of the study were samples of pork meat products (carbonade and brisket) made using post-enzymatic heat treatment, fermented with the addition of commercial starter cultures (B-LC-78, Rosa, Easy Cure) from the company Chr. Hansen (Denmark) and with the addition of a composition of natural citrus extracts. Sensory characteristics of the finished products were evaluated by the organoleptic method. The water activity was determined on the AquaLab 4TE analyzer. To ensure accurate measurements of water activity, this device allows you to control the temperature of the sample using internal temperature control in the range from 15 to 50 °C. Microbiological analysis of meat products using a composition of natural citrus extracts was carried out in accordance with GOST R 54354-2011.

Results. The article proposes a technology of raw smoked products using starter cultures of microorganisms, a composition of citrus extracts and post-enzymatic heat treatment. Commercial cultures of the company Chr Hansen (Denmark) were taken as starting cultures of microorganisms: Easy Cure, Rosa, BLC 78. The composition of citrus extracts was added during massaging. Post-enzymatic heat treatment was used as an additional safety measure for meat products to inactivate pathogenic microorganisms and to preserve the taste and nutritional value of the finished product. The authors suggest some practical recommendations on the selection of starter cultures and technological parameters of post-enzymatic heat treatment for the production of certain types of pork meat products.

Conclusions. The developed technology makes it possible to stabilize the quality indicators of meat products and reduce the duration of the production cycle. Rosa starter culture is the most preferred for the production of smoked carbonade, and Easy Cure starter culture is the most preferred for the production of smoked brisket. The composition of citrus extracts has antimicrobial activity and is suitable for use in the production of raw smoked meat products. The potential of using the composition of natural citrus extracts in the technology of raw smoked meat products with post-enzymatic heat treatment to improve organoleptic properties, reduce sodium nitrite and prolong the shelf life of finished products is shown.

KEYWORDS

starter cultures, natural extracts, raw smoked meat products, heat treatment, fermentation, sensory evaluation



To cite: Danilchuk, T. N., & Ipatov, D. E. (2023). Complex Technology for the Production of Smoked Products of Prolonged Shelf Life with a Reduced Concentration of Sodium Nitrite. *Health, Food & Biotechnology*, 5(2), 39-50. <https://doi.org/10.36107/hfb.2023.i2.s170>

ВВЕДЕНИЕ

В последние годы была отмечена тенденция значительного повышения спроса на продукты потребления сырокопченых и сыровяленых мясных продуктов. При этом есть веские основания полагать, что в ближайшие годы спрос на такую продукцию будет и дальше существенно возрастать, а ее ассортимент значительно расширится. Стоит отметить, что на качество сырокопченых и сыровяленых колбас влияет множество факторов: подготовка мясного сырья и вспомогательных материалов, температурные параметры, режимы ферментации, сушки, рецептура, выбор стартовых культур и используемых пищевых добавок и многое другое (Halagarda & Wójciak, 2022; Семенова и соавт., 2019).

Учитывая имеющиеся тенденции и ориентацию потребителя на натуральные здоровые продукты питания, авторами исследования было принято решение исследовать влияние различных стартовых культур на органолептические свойства сырокопченых продуктов из свинины с постферментативной термообработкой.

Особенно важно в современном производстве подбирать технологию и применение стартовых культур при производстве качественного готового продукта.

Роль стартовых культур в ферментации мяса

Традиционные сыровяленые и сырокопченые продукты естественного созревания предполагают использование мяса собственного производства, не подвергавшегося заморозке и транспортированию на дальние расстояния, в связи с чем могут превосходить по качеству те изделия, в которые вводятся коммерческие закваски, обладающие отличительными качествами благодаря используемой технологии и свойствам сырого мяса (Halagarda & Wójciak, 2022). Однако, с учетом дефицита охлажденного сырья и с широким использованием дефростированного мяса, использование заквасок для производства колбасных и мясных изделий гарантировало бы получение продуктов со стабильными гигиеническими и органолептическими качествами за более короткое время созревания (Гашева, 2021; Afraei et al., 2022).

Молочнокислые бактерии и стафилококки являются наиболее значимыми микроорганизмами, используемыми в качестве заквасочных культур при переработке сырокопченых колбас (Fernandez & Caballero, 2023; Hu et al., 2022). Они вырабатывают достаточное количество молочной кислоты, чтобы снизить pH мяса до значений 4,8–5,0 (Bungenstock & Abdulmawjood, 2020). Стафилококки также являются очень важными агентами ферментации мяса. Штаммы и количество этих микро-

организмов в мясных продуктах зависят от условий процесса, в частности от pH и активности воды, которые участвуют в сохранении продукта, предотвращая прогорклость и приобретая типичный красный цвет благодаря каталазе и нитратредуктазе, а также участвуют в формировании аромата (Li et al., 2023; Sallan et al., 2022; Wang et al., 2018; Zang et al., 2018). Некоторые штаммы способны продуцировать антимикробные вещества (Bungenstock & Abdulmawjood, 2020; Casquete et al., 2011; Flores, 2018).

Постферментативная термообработка как дополнительная мера безопасности

Сыровяленые и сырокопченые изделия естественного созревания, как правило, считаются микробиологически стабильными продуктами. Однако эти продукты могут представлять опасность для здоровья потребителей, когда сырье загрязнено высоким уровнем патогенных бактерий и /или контроль антимикробных факторов недостаточен. Такой способ производства также может привести к развитию нежелательных микроорганизмов, которые могут поставить под угрозу безопасность и качество пищевых продуктов (Миколайчик и соавт., 2019; Manassi & Steinmetz de Souza, 2022; Ropars & Giraud, 2022). Эту проблему может решить постферментативная термообработка, которая в настоящее время используется в качестве дополнительной меры безопасности мясных продуктов после ферментации (Zdolec & Mikuš, 2022). Ее положительные эффекты, такие как инактивация патогенных микроорганизмов и лучшее сохранение вкусовых качеств и питательной ценности, дали этой технологии широкое применение (Соломенников & Сигаев, 2020; Askild & Holck, 2011).

В некоторых случаях этап нагревания/варки может использовать как после ферментации, так и перед этапом сушки. Этот влажный нагрев может быть осуществлен с помощью герметичной духовки или подачи пара для повышения относительной влажности выше 90 % на протяжении всего процесса приготовления и соблюдения требований по времени и температуре, необходимых для уничтожения паразитов *Trichinae*, сальмонеллы и /или кишечной палочки. При этом следует контролировать процесс нагрева, чтобы обеспечить надлежащую временную и температурную обработку. Например, в США часто используется постферментативная термообработка, при которой в конце ферментации обеспечивают температуру в толще изделия 58,3 °C, если нельзя исключить наличие *Trichinae* (Калужских, 2022; Li et al., 2023; Sallan et al., 2022).

Натуральные экстракты – путь
к созданию продуктов
с «чистой» этикеткой

Важным фактором при производстве продуктов питания является анализ потребительских предпочтений. Потребители готовы приобретать мясные продукты, которые являются питательными, безопасными, свежими и обладают хорошими органолептическими качествами. В мясных продуктах широко используются нитриты в качестве химических добавок для консервирования из-за их высокого ингибирующего воздействия на рост бактерий, способности замедлять окисление липидов, улучшать стабильность цвета, вкуса и текстуры. В тоже время нитриты в мясных продуктах подвергают риску здоровье потребителей и могут привести к ряду заболеваний, поэтому все большее число потребителей выбирают мясные продукты «с чистой этикеткой» – без искусственных красителей и консервантов (Ayaseh, 2022).

В связи с изложенным выше актуальным становится ограничение использования нитритов при переработке мяса путем замены их веществами, более безопасными для здоровья потребителей, в качестве которых могут применяться соединения природного происхождения, такие как растительные экстракты (Manzoor et al., 2022; Serdaroglu, 2023). Экстракты можно использовать и в качестве противомикробных средств в пищевых продуктах (Семенова и соавт., 2019; Табакаева и соавт., 2021; Bellucci & Paulo, 2021; Nowak et al., 2016).

В мясных технологиях нашли применение экстракты цитрусовых, розмарина, барбариса, шиповника и т.д. (Баженова и соавт., 2021; Валишев, 2022; Цурупа, 2021). Экстракты цитрусовых обладают рядом полезных свойств. Известно, что добавление экстракта цитрусовых в пищевые продукты улучшает качество продуктов без негативного влияния на их органолептические показатели при добавлении в нужном количестве. Применение цитрусового

экстракта по-прежнему открывает большие перспективы для разработки мясных продуктов с пользой для здоровья и экономики (Ademosun, 2022; McKenna, 2019).

Целью данной статьи является описание разработки технологии сырокопченых изделий продолжительного срока хранения с пониженной концентрацией нитрита натрия с применением новых видов стартовых культур и натурального цитрусового экстракта.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

- (1) подобрать оптимальную стартовую культуру для каждого вида сырокопченых изделий;
- (2) снизить содержание нитрита натрия путем замены их на натуральный цитрусовый экстракт и пищевую соль;
- (3) оценить органолептические, физико-химические и микробиологические показатели качества готовых продуктов;
- (4) установить сроки хранения разработанных изделий.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Объекты исследования

Объектами исследования являлись образцы мясных изделий из свинины (карбонад и грудинка), изготовленные с применением постферментативной термообработки, ферментированные с добавлением коммерческих стартовых культур (B-LC-78, Rosa, Easy Cure) от компании Chr. Hansen (Дания) и с добавлением композиции натуральных экстрактов цитрусовых. В Таблице 1 представлены основные характеристики исследуемых стартовых культур. Каждая из представленных культур обладает своими уникальными свойствами, которые могут быть использованы в зависимости от вида конечного продукта.

Таблица 1

Основные характеристики исследуемых коммерческих стартовых культур от компании Chr. Hansen

Наименование культуры	Композиция штаммов	Активность	Внешний вид
B-LC-78	<i>Staphylococcus carnosus</i>	Факультативная анаэробная Образование каталазы Образование нитрат редуктазы Липолиз и протеолиз	Измельченный порошок белого цвета с коричневатыми включениями
	<i>Pediococcus acidilactici</i>	Факультативная анаэробная Продукция DL (+/-)-молочной кислоты Образование бактериоцина	
Rosa	<i>Staphylococcus xylosus</i>	Факультативная анаэробная Образование каталазы	Гранулированный порошок от белого до коричневого цвета
	<i>Staphylococcus</i>	Образование нитрат редуктазы Липолиз и протеолиз	

Окончание Таблицы 1

Наименование культуры	Композиция штаммов	Активность	Внешний вид
Easy Cure LC	<i>Debaryomyces hansenii</i>	Аэробная	Гранулированный порошок от белого до коричневого цвета
	<i>Lactobacillus curvatus</i>	Факультативная анаэробная Продуцирование L (+)-молочной кислоты	
	<i>Staphylococcus carnosus</i>	Факультативная анаэробная Образование каталазы Образование нитрат редуктазы Липолиз и протеолиз	
	<i>Staphylococcus vitulinus</i>	Факультативная анаэробная Образование каталазы Образование нитрат редуктазы Липолиз и протеолиз	

Easy Cure LC — культура, которая способствует образованию стабильного и яркого цвета, формированию исключительных вкусо-ароматических свойств в сырокопченых и сыровяленых мясных продуктах с высоким уровнем pH исходного сырья. Культура также препятствует развитию патогенных микроорганизмов класса *Listeria monocytogenes*, так же препятствует окислению продукта. Дрожжи в составе культуры добавляют исключительный аромат.

B-LC-78 — стартовая культура для производства сырокопченых и сыровяленых мясных продуктов с высоким уровнем pH исходного сырья. Культура имеет высокую устойчивость к соли и способствует стабильности цвета, формированию исключительных вкусо-ароматических свойств, а также препятствует развитию патогенных микроорганизмов класса *Listeria monocytogenes*. Культура содержит смесь штаммов *Staphylococcus carnosus*, *Pediococcus acidilactici*. B-LC-78 хорошо подходит для всех видов ферментированных мясных продуктов с высоким уровнем pH исходного сырья.

Rosa — культура, которая способствует образованию стабильного и яркого цвета, формированию исключительных вкусо-ароматических свойств в сырокопченых и сыровяленых мясных продуктов с высоким уровнем pH исходного сырья при низких температурах ферментации. Rosa хорошо подходит для всех видов ферментированных мясных продуктов с высоким уровнем pH исходного сырья производимых при низких температурах.

В Таблице 2 представлены основные характеристики применяемой композиции натуральных экстрактов цитрусовых.

Композиции натуральных экстрактов цитрусовых — это натуральная приправа, изготовленная из фруктового экстракта и экстракта цитрусовых, инкапсулированных в мальтодекстрин или другой аналогичный пищевой наполнитель путем сублимационной сушки. Для его

экстракции и сушки используется только чистая вода без подогрева, без использования химических растворителей. Продукт содержит натуральный гидротирозол, тирозол, кофейную кислоту, п-кумаровую кислоту, антоцианы, катехины и полисахариды оливковых и цитрусовых плодов. Капсулирование лиофилизированного продукта обеспечивает значительную маскировку вкуса и цвета, а также устойчивость к высокой температуре. Композиция предназначена для добавления в продукты питания для улучшения вкуса и придания приятного легкого фруктового аромата.

Таблица 2
Основные характеристики применяемой композиции натуральных экстрактов цитрусовых

Показатель	Значение
Внешний вид	Светло-коричневый порошок
Запах (инкапсулированный продукт)	Очень легкий фруктовый аромат
Вкус (инкапсулированный продукт)	Легкая пикантная горчинка
Плотность	500 г/л
Растворимость в воде при 20°C	Мгновенно растворимый
pH (в 10 % водном растворе)	3,5 ± 0,1
Общее количество полифенолов	5000 ± 5 % мг/кг

Методы исследования

Для проведения сенсорного анализа была привлечена экспертная группа из 17 человек. Оценивались такие показатели как: насыщенность вкуса, кислинка во вкусе, сбалансированность вкуса, средиземноморская нота в аромате (интенсивность), яркость цвета, плотность структуры, монолитность. Параметры оценивались по 10-бальной шкале по интенсивности (например, 1 — наименее яркий цвет, 10 — наиболее яркий цвет).

Активность воды определяли на анализаторе AquaLab 4TE. Для обеспечения проведения точных измерений активности воды этот прибор позволяет управлять температурой образца с применением внутреннего температурного контроля в диапазоне от 15 до 50°C.

Микробиологический анализ мясных продуктов с применением композиции натуральных экстрактов цитрусовых проводили согласно ГОСТ Р 54354–2011.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Данное исследование проводится впервые и имеет ряд преимуществ по сравнению с другими разработками. Представленная технология позволяет получить продукты высокого качества без применения высокозатратных технологий, как например, использование дорогостоящего метода инкапсуляции ферментирующих бактерий (Afraei et al., 2022). Кроме того, органолептические показатели разработанных продуктов с натуральным экстрактом цитрусовых имеют высокую оценку в отличие от известного применения растительных экстрактов в работе A. Nowak (2016), которые приводят к ухудшению цвета мясных продуктов, а подобранные в данном исследовании щадящие режимы постферментативной термообработки, в отличие от известных, позволяют получить сочные изделия с насыщенным ароматом (Halagarda & Wójciak, 2022).

Для выбора оптимальной стартовой культуры были разработаны изделия мясные сырокопченые – грудинка и карбонад – с использованием каждой из трех стартовых культур: B-LC-78, Rosa, Easy Cure (Таблица 3). Технологический процесс производства выбранных сырокопченых продуктов состоит из следующих операций:

подготовка сырья, выделение грудинки, придание формы (обрядка), подготовка рассола, шприцевание рассолом на 25 % от массы сырья, массажирование в массажере с добавлением стартовых культур/композиции натуральных экстрактов цитрусовых 1,5–2 часа, созревание при 4 °С в течение 2–3 суток, подпетливание, стекание в течение 1,5 часов, постферментативная термообработка, включающая прогрев до 35 °С в течение 2 часов для активации процесса формирования цвета и аромата будущего продукта, копчение при 35 °С в течение 15 минут и ступенчатый прогрев в термокамере при температуре 45 °С в течение 1 часа и при температуре 52 °С до достижения температуры в центре продукта 48 °С в течение 4 часов, остывание в камере охлаждения, подмораживание с последующей нарезкой на слайсере, упаковка в вакуумные пакеты, хранение в холодильнике.

Рецептуры разработанных продуктов с применением стартовых культур и композиции натуральных экстрактов цитрусовых представлены в Таблице 3.

Результаты сенсорной оценки грудинки и карбонада с применением различных стартовых культур приведены на Рисунках 1 и 2, соответственно.

По результатам сенсорной оценки было выявлено, что наиболее предпочтительной стартовой культурой для производства сырокопченого карбонада является стартовая культура Rosa, а для производства сырокопченой грудинки – стартовая культура Easy Cure. Постферментативная термообработка благоприятно влияет на органолептические показатели всех образцов.

На следующем этапе исследовали возможность снижения содержания нитрита натрия в выбранных продуктах. Для этого в рецептуре мясных продуктов было

Таблица 3
Рецептуры разработанных продуктов с применением стартовых культур и композиции натуральных экстрактов цитрусовых

Наименование сырья и ингредиентов	Рассол, кг	Продукт, кг	Рассол, кг	Продукт, кг
	Образцы для выбора стартовых культур		Образцы со сниженным содержанием нитрита натрия	
Грудинка/карбонад		100,0		100,0
Profi Inject-Ham SK 2040	7,0	1,75	7,0	1,75
Нитрит натрия 0,6 %	18,0	4,5	12,6	4,5
Соль пищевая	–	–	5,4	–
Вода	75,0	18,75	75,0	18,75
	Обработка в массажерах:			
Композиция натуральных экстрактов цитрусовых	–	–	–	0,25
B-LC-78/ Rosa/ Easy Cure	–	0,25		0,25
Выход		110,05		110,17

Рисунок 1

Профилограмма сенсорных показателей образцов карбонада с применением различных стартовых культур

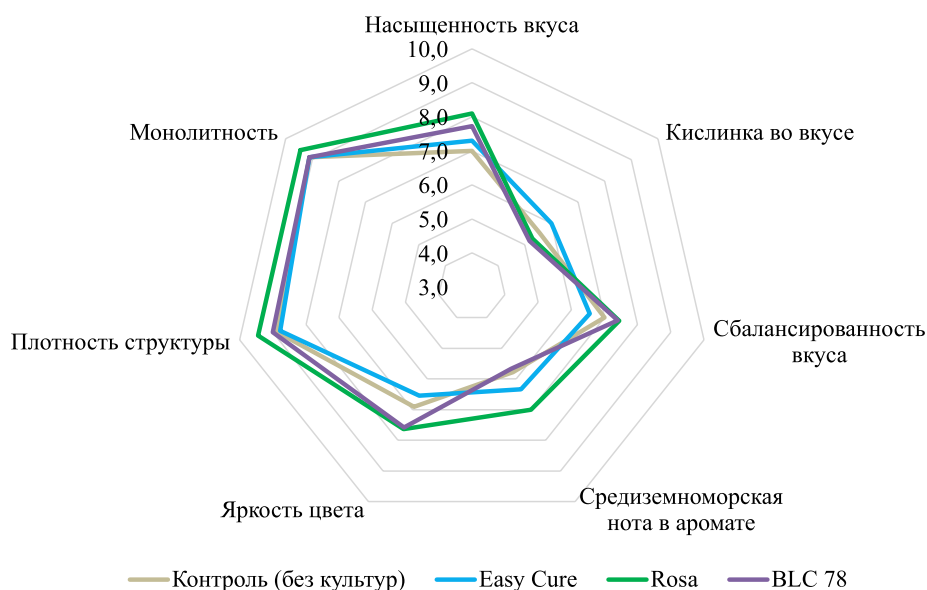
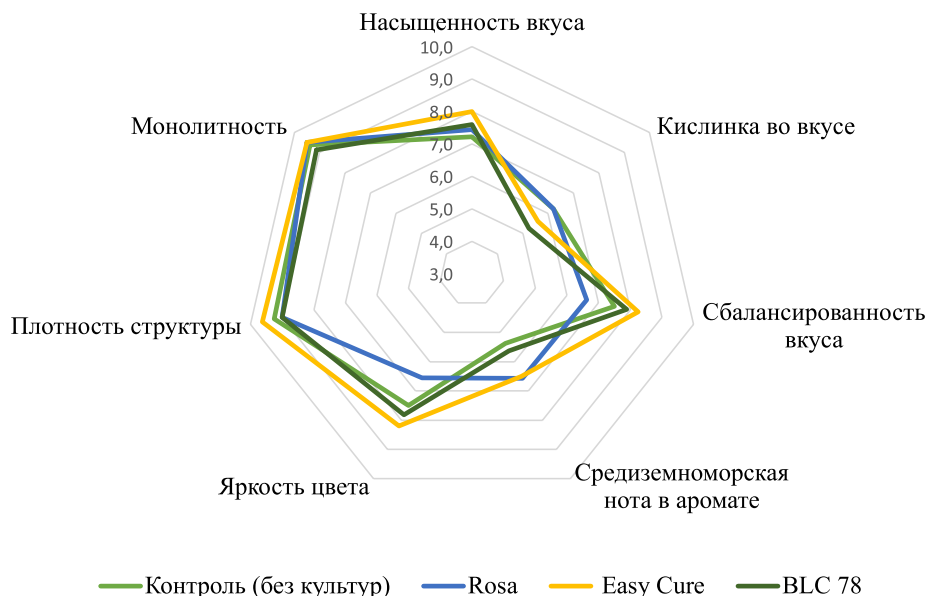


Рисунок 2

Профилограмма сенсорных показателей образцов грудинки с применением различных стартовых культур.



снижено содержание нитрита натрия на 30 % с заменой ее на пищевую соль, при добавлении в массажер 0,25 кг (на 100 кг грудинки/карбоната) композиции натуральных экстрактов цитрусовых с целью предотвращения ухудшения цвета изделий. В результате были получены продукты надлежащего качества, без заметных изменений органолептических показателей по сравнению с образцом, полученным только с использованием нитрита натрия. Результаты органолептического анализа образцов мясных сырокопченых продуктов представлены в Таблице 4.

Из данных Таблицы 4 видно, что органолептические показатели образцов мясных сырокопченых продуктов со сниженным содержанием нитрита натрия при добавлении композиции натуральных экстрактов цитрусовых соответствуют ГОСТ Р 55796–2013, улучшает аромат и вкус, способствует образованию приятного интенсивного (глубокого) красного цвета. Таким образом, для производства сырокопченых продуктов из свинины рекомендуется замена 30 % нитрита натрия на пищевую соль при добавлении в массажер композиции натуральных экстрактов цитрусовых.

Таблица 4
Результаты органолептического анализа образцов мясных сырокопченых продуктов со сниженным содержанием нитрита натрия

Показатель	Контрольный образец грудинки (без композиции натуральных экстрактов цитрусовых, без замены нитрита натрия)	Образец грудинки с добавлением композиции натуральных экстрактов цитрусовых и с заменой 30 % нитрита натрия на пищевую соль	Контрольный образец карбонада (без композиции натуральных экстрактов цитрусовых, без замены нитрита натрия)	Образец карбонада с композицией натуральных экстрактов цитрусовых и с заменой 30 % нитрита натрия на пищевую соль
Внешний вид	Поверхность чистая, без выхватов мяса, шпика и шкуры, без бахромок и остатков щетины, края ровно обрезаны, с петель для подвешивания, в шкуре		Поверхность чистая, без выхватов мяса, края ровные с петель для подвешивания	
Форма	Прямоугольная, толщина в тонкой части не менее 3 см		Батоны прямой или слегка изогнутой формы	
Консистенция	Упругая			
Вид и цвет на разрезе	Жировая ткань с прослойками мышечной ткани глубокого розово-красного цвета, цвет жира белый с розовым оттенком, с толщиной шпика при прямом разрезе 1,5–2,5 см		Равномерно окрашенная мышечная ткань глубокого розово-красного цвета, без серых пятен, цвет жира белый с розовым оттенком	
Запах и вкус	Свойственные данному виду продукта, без посторонних привкуса и запаха с ароматом копчения, легкое цитрусовое послевкусие			

Кроме снижения нитрита натрия, композиция натуральных экстрактов цитрусовых способствует пролонгации сроков хранения готовых продуктов. Одними из показателей, влияющих на сроки хранения, является микробиологические показатели. В Таблице 5 представлены результаты микробиологического исследования посевов разработанных продуктов на КМАФАнМ на 3, 4 и 5 сутки.

Из таблицы видно, что показатели КМАФАнМ в образцах с применением композиции натуральных экстрактов цитрусовых значительно ниже контрольного и 2-го образцов, композиция натуральных экстрактов цитрусовых подавляет рост патогенных микроорганизмов и действует как природный консервант и антиоксидант.

Таблица 5
Результаты микробиологического исследования

Образец	КМАФАнМ, КОЕ (допустимое значение не более $2,5 \cdot 10^3$)		БГКП (допустимое значение не более $1,0 \cdot 10^3$)		Дрожжи/плесени (не нормируется)	
	Грудинка	Карбонад	Грудинка	Карбонад	Грудинка	Карбонад
1 посев – 3 сутки						
Образец 1 (с композицией натуральных экстрактов цитрусовых и нитритом натрия)	$1,7 \cdot 10^3$	$1,9 \cdot 10^3$	не обнаружено	не обнаружено	менее $1 \cdot 10^1$	менее $1 \cdot 10^1$
Образец 2 (с композицией натуральных экстрактов цитрусовых и сниженным содержанием нитрита натрия)	$1 \cdot 10^2$	$1,1 \cdot 10^2$	не обнаружено	не обнаружено	не обнаружено	не обнаружено
2 посев – 5 сутки						
Образец 1 (с композицией натуральных экстрактов цитрусовых и нитритом натрия)	$2,1 \cdot 10^3$	$2,3 \cdot 10^3$	не обнаружено	не обнаружено	менее $1 \cdot 10^1$	менее $1 \cdot 10^1$
Образец 2 (с композицией натуральных экстрактов цитрусовых и сниженным содержанием нитрита натрия)	$1,7 \cdot 10^2$	$1,9 \cdot 10^2$	не обнаружено	не обнаружено	не обнаружено	не обнаружено

Окончание Таблицы 5

Образец	КМАФАнМ, КОЕ (допустимое значение не более $2,5 \cdot 10^3$)		БГКП (допустимое значение не более $1,0 \cdot 10^3$)		Дрожжи/плесени (не нормируется)	
	Грудинка	Карбонад	Грудинка	Карбонад	Грудинка	Карбонад
3 посева – 7 сутки						
Образец 1 (с композицией натуральных экстрактов цитрусовых и нитритом натрия)	$2,4 \cdot 10^3$	$2,5 \cdot 10^3$	$2 \cdot 10^1$	$1 \cdot 10^1$	$1 \cdot 10^1$	$1 \cdot 10^1$
Образец 2 (с композицией натуральных экстрактов цитрусовых и сниженным содержанием нитрита натрия)	$1,9 \cdot 10^2$	$2,0 \cdot 10^2$	не обнаружено	не обнаружено	менее $1 \cdot 10^1$	менее $1 \cdot 10^1$

Для установления сроков хранения был проведен анализ активности воды в образцах разработанных мясных продуктов. Активность воды – это важный показатель для контроля большинства биохимических и микробиологических реакций в пище, который в конечном итоге определяет ее стабильность и срок хранения. Роста активности воды в образцах с применением композиции натуральных экстрактов цитрусовых не выявлено, активность воды во всех образцах находится примерно на одном уровне ($A_w = 0.97 \pm 0,05$ для грудинки, $A_w = 0.98 \pm 0,05$ для карбонада).

Результаты анализа активности воды представлены в Таблице 6.

Таблица 6
Результаты анализа активности воды в разработанных мясных продуктах

Образец	Активность воды (A_w)	Температура, °C
Грудинка		
Образец 1 (с композицией натуральных экстрактов цитрусовых и нитритом натрия)	$0.97 \pm 0,05$	$12 \pm 0,17$
Образец 2 (с композицией натуральных экстрактов цитрусовых и сниженным содержанием нитрита натрия)	$0.97 \pm 0,05$	$12 \pm 0,17$
Карбонад		
Образец 1 (с композицией натуральных экстрактов цитрусовых и нитритом натрия)	$0.98 \pm 0,04$	$12 \pm 0,17$
Образец 2 (с композицией натуральных экстрактов цитрусовых и сниженным содержанием нитрита натрия)	$0.98 \pm 0,04$	$12 \pm 0,17$

Из полученных данных микробиологического анализа и активности воды можно сделать вывод о том, что применение композиция натуральных экстрактов цитрусовых позволяет увеличить сроки хранения сырокопченых изделий до 7 суток при температуре от 0 до 8 °С и относительной влажности воздуха $75 \pm 5 \%$.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате проведенных исследований были выявлены наиболее предпочтительные композиции в составе стартовых культур для производства отдельных видов мясных продуктов из свинины с постферментативной термообработкой: наиболее предпочтительной для производства сырокопченого карбонада является стартовая культура Rosa, а для производства сырокопченной грудинки – стартовая культура Easy Cure. Установлено, что композиция экстрактов цитрусовых обладает антимикробной активностью и подходят для использования в производстве мясных сырокопченных продуктов. Применение экстрактов цитрусовых позволяет снизить количество нитрита натрия с сохранением сенсорных показателей качества готовых изделий. Результаты исследований указывают на потенциал применения композиции натуральных экстрактов цитрусовых в технологии мясных сырокопченных продуктов с постферментативной термообработкой для улучшения органолептических свойств, снижения нитрита натрия и пролонгации сроков хранения готовых продуктов.

ВКЛАД АВТОРОВ

Данильчук Т. Н.: руководство исследованием, разработка методологии исследования.

Ипатов Д. Е.: концептуализация, проведение исследования, ресурсы, создание рукописи и её редактирование.

ЛИТЕРАТУРА:

- Баженова, Б. А., Бурханова, А. Г., Забалуева Ю. Ю., & Добрецкий, Р. А. (2021). Исследование возможности иммобилизации антиоксидантов шиповника даурского включением в белково-липидный комплекс. *Техника и технология пищевых производств*, 51(2), 301–311. <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2021-2-301-311>
- Валишев, А. А., & Ишевский, А. Л. (2022). Сравнительный анализ влияния хитозана, тмина, кориандра и зиры на качественные показатели вареных колбасных изделий. *Глобус*, 2(67), 14–35.
- Гашева, М. А. (2021). Подбор основных компонентов и изучение их влияния на показатели качества сырокопченых колбас. *Новые технологии*, (6), 26–34.
- Миколайчик, И. Н., Морозова, Л. А. & Ступина, Е. С. (2019). Обоснование и разработка технологического решения производства ферментированных колбас с применением стартовых культур. *Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Пищевые и биотехнологии*, 7(1), 51–57.
- Семенова, А. А., Лебедева Л. И., & Вережкина, М. И. (2019). Новая техническая документация на сырокопченые колбасы ускоренного созревания. *Все о мясе*, (6), 46–48.
- Соломенников, А. Е., & Сигаев, С. И. (2020). Влияние факторов неопределенности внешней среды и технологических особенностей производства колбасных изделий на устойчивое развитие предприятий мясоперерабатывающей промышленности России. *Сельское хозяйство*, (1), 1–14.
- Табакеева, О. В., Попова, А. В., Ивашина, Л. А., & Ивашина, В. А. (2021). Разработка рецептуры сыровяленого изделия на основе мяса яков с использованием экстракта ягод калины. *Вестник Красноярского государственного аграрного университета*, 11(176), 174–180.
- Цурупа, М. А., & Боровская, Л. В. (2021). Методы получения со2 экстрактов фитосырья и их применение в рыбной и мясной продукции. *The Scientific Heritage*, (81–2), 41–43. <https://doi.org/10.24412/9215-0365-2021-81-2-41-43>
- Ademosun, A. (2022). Citrus peels odyssey: From the waste bin to the lab bench to the dining table. *Applied Food Research*, (2), 100083. <https://doi.org/10.1016/j.afres.2022.100083>
- Afraei, M., Soleimanian-Zad, S., & Fathi, M. (2022). Improvement the texture of nitrite-free fermented sausages using microencapsulation of fermenting bacteria. *Food Bioscience*, 50, 102010, <https://doi.org/10.1016/j.fbio.2022.102010>
- Askild, L. & Holck, L. A. (2011). Reduction of verotoxigenic *Escherichia coli* in production of fermented sausages. *Meat Science*, 89, 286–295. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2011.04.031>
- Ayaseh, A. (2022). Production of nitrite-free frankfurter-type sausages by combining ϵ -polylysine with beetroot extracts: An assessment of microbial, physicochemical, and sensory properties. *Food Bioscience*, 49, 101936. <https://doi.org/10.1016/j.fbio.2022.101936>
- Bellucci, E. R., & Paulo, E. S. (2021). Red pitaya extract as natural antioxidant in pork patties with total replacement of animal fat. *Meat Science*, 171, 108284 <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2020.108284>
- Bungenstock, A., & Abdulmawjood, F. (2020). Evaluation of antibacterial properties of lactic acid bacteria from traditionally and industrially produced fermented sausages from Germany. *PLoS One*, 15, e0230345. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0230345>
- Casquete, R., Benito, M. J., & Martín, A. (2011) Effect of autochthonous starter cultures in the production of «salchichón», a traditional Iberian dry-fermented sausage, with different ripening processes. *LWT – Food Science and Technology*, 44, 1562–1571. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2011.01.028>
- Fernández, M., & Caballero, N. (2023). Potential of selected bacteriocinogenic lactic acid bacteria to control *Listeria monocytogenes* in nitrite-reduced fermented sausages. *Food Control*, 150, 109724. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2023.109724>
- Flores, M. (2018). Understanding the implications of current health trends on the aroma of wet and dry cured meat products. *Meat Science*, 144, 53–61. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2018.04.016>
- Halagarda, M., & Wójciak, K. M. (2022). Health and safety aspects of traditional European meat products. *Meat Science*, 184, 108623. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2021.108623>
- Hu, Y., Wang, J., & Liu, Q. (2022). Unraveling the difference in flavor characteristics of dry sausages inoculated with different autochthonous lactic acid bacteria. *Food Bioscience*, 47, 101778, <https://doi.org/10.1016/j.fbio.2022.101778>
- Li, Y., Cao, Z., & Yu, Z. (2023). Effect of inoculating mixed starter cultures of *Lactobacillus* and *Staphylococcus* on bacterial communities and volatile flavor in fermented sausages. *Food Science and Human Wellness*, 12, 200–211. <https://doi.org/10.1016/j.fshw.2022.07.010>
- Manassi, C. F., & Steinmetz de Souza, S. (2022). Functional meat products: Trends in pro-, pre-, syn-, para- and post-biotic use. *Food Research International*, 154, 111035. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2022.111035>
- Manzoor, A., Ahmad, S., & Basharat, Y. (2022). Effect of bioactive-rich mango peel extract on physicochemical, antioxidant and functional characteristics of chicken

- sausage. *Applied Food Research*, 2, 100183. <https://doi.org/10.1016/j.afres.2022.100183>
- McKenna, J. (2019). Evaluation of citrus fiber as a natural replacer of sodium phosphate in alternatively-cured all-pork Bologna sausage. *Meat Science*, 157, 107883. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2019.107883>
- Nowak, A., Czyzowska, A., & Efenberger, M. (2016). Polyphenolic extracts of cherry (*Prunus cerasus* L.) and blackcurrant (*Ribes nigrum* L.) leaves as natural preservatives in meat products. *Food Microbiology*, 59, 142–149. <https://doi.org/10.1016/j.fm.2016.06.004>
- Ropars, J., & Giraud, T. (2022). Convergence in domesticated fungi used for cheese and dry-cured meat maturation: beneficial traits, genomic mechanisms, and degeneration. *Current Opinion in Microbiology*, 70, 102236. <https://doi.org/10.1016/j.mib.2022.102236>
- Sallan, S., Kaban, G., & Kaya, M. (2022). The effects of nitrite, sodium ascorbate and starter culture on volatile compounds of a semi-dry fermented sausage. *LWT*, 153, 112540. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2021.112540>
- Serdaroglu, M. (2023). Effects of natural nitrite sources from arugula and barberry extract on quality characteristic of heat-treated fermented sausages. *Meat Science*, 198, 109090. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2022.109090>
- Wang, X., Zhang, Y., & Ren, H. (2018). Comparison of bacterial diversity profiles and microbial safety assessment of salami, chinese dry-cured sausage and chinese smoked-cured sausage by high-throughput sequencing. *LWT*, 90, 108–115. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2017.12.011>
- Zang, J., Xu, Y., & Xia, W. (2018). Dynamics and diversity of microbial community succession during fermentation of suan yu, a chinese traditional fermented fish, determined by high throughput sequencing. *Food Research International*, 111, 565–573. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2018.05.076>
- Zdolec, N., & Mikuš, T. (2022). Chapter 8 – lactic acid bacteria in meat fermentation: dry sausage safety and quality. *Lactic Acid Bacteria in Food Biotechnology*. Elsevier, 145–159. <https://doi.org/10.1016/B978-0-323-89875-1.00007-9>

REFERENCES

- Bazhenova, B. A., Burxanova, A. G., Zabalueva, Yu. Yu., & Dobreczkij, R. A. (2021). Study of the possibility of immobilization of rosehip antioxidants by inclusion in a protein-lipid complex. *Tekhnika i tekhnologiya pishchevyh proizvodstv*, 51(2), 301–311. <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2021-2-301-311>
- Valishev, A. A., & Ishevskij, A. L. (2022). Comparative analysis of the influence of chitosan, cumin, coriander and cumin on the quality indicators of cooked sausages. *Globus*, 2(67), 14–35.
- Gasheva, M. A. (2021). Selection of the main components and study of their influence on the quality indicators of smoked sausages. *Novye tekhnologii*, (6), 26–34.
- Mikolajchik, I. N., Morozova, L. A. & Stupina, E. S. (2019). Justification and development of a technological solution for the production of fermented sausages using starter coolers. *Vestnik YUzhno-Ural'skogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Pishchevye i biotekhnologii*, 7(1), 51–57.
- Semenova, A. A., Lebedeva L. I., & Verevkina, M. I. (2019). New technical documentation for smoked smoked sausages with accelerated maturation. *Vse o myase*, (6), 46–48.
- Solomennikov, A. E., & Sigaev, S. I. (2020). The influence of environmental uncertainty factors and technological features of sausage production on the sustainable development of meat processing enterprises in Russia. *Sel'skoe hozyajstvo*, (1), 1–14.
- Tabakaeva, O. V., Popova, A. V., Ivashina, L. A., & Ivashina, V. A. (2021). Development of receptors for a cured product based on yak meat using its extract of viburnum berries. *Vestnik Krasnoyarskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*, 11(176), 174–180.
- Czurupa, M. A., & Borovskaya, L. V. (2021). Methods for obtaining co2 extracts of phyto-raw materials and their use in meat and meat products. *The Scientific Heritage*, (81–2), 41–43. <https://doi.org/10.24412/9215-0365-2021-81-2-41-43>
- Ademosun, A. (2022). Citrus peels odyssey: From the waste bin to the lab bench to the dining table. *Applied Food Research*, (2), 100083. <https://doi.org/10.1016/j.afres.2022.100083>
- Afraei, M., Soleimanian-Zad, S., & Fathi, M. (2022). Improvement the texture of nitrite-free fermented sausages using microencapsulation of fermenting bacteria. *Food Bioscience*, 50, 102010. <https://doi.org/10.1016/j.fbio.2022.102010>
- Askild, L. & Holck, L. A. (2011). Reduction of verotoxigenic *Escherichia coli* in production of fermented sausages. *Meat Science*, 89, 286–295. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2011.04.031>
- Ayaseh, A. (2022). Production of nitrite-free frankfurter-type sausages by combining ϵ -polylysine with beetroot extracts: An assessment of microbial, physicochemical, and sensory properties. *Food Bioscience*, 49, 101936. <https://doi.org/10.1016/j.fbio.2022.101936>
- Bellucci, E. R., & Paulo, E. S. (2021). Red pitaya extract as natural antioxidant in pork patties with total replacement of animal fat. *Meat Science*, 171, 108284. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2020.108284>

- Bungenstock, A., & Abdulmawjood, F. (2020). Evaluation of antibacterial properties of lactic acid bacteria from traditionally and industrially produced fermented sausages from Germany. *PLoS One*, 15, e0230345. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0230345>
- Casquete, R., Benito, M. J., & Martín, A. (2011). Effect of autochthonous starter cultures in the production of «salchichón», a traditional Iberian dry-fermented sausage, with different ripening processes. *LWT – Food Science and Technology*, 44, 1562–1571. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2011.01.028>
- Fernández, M., & Caballero, N. (2023). Potential of selected bacteriocinogenic lactic acid bacteria to control *Listeria monocytogenes* in nitrite-reduced fermented sausages. *Food Control*, 150, 109724. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2023.109724>
- Flores, M. (2018). Understanding the implications of current health trends on the aroma of wet and dry cured meat products. *Meat Science*, 144, 53–61. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2018.04.016>
- Halagarda, M., & Wójciak, K. M. (2022). Health and safety aspects of traditional European meat products. *Meat Science*, 184, 108623. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2021.108623>
- Hu, Y., Wang, J., & Liu, Q. (2022). Unraveling the difference in flavor characteristics of dry sausages inoculated with different autochthonous lactic acid bacteria. *Food Bioscience*, 47, 101778. <https://doi.org/10.1016/j.fbio.2022.101778>
- Li, Y., Cao, Z., & Yu, Z. (2023). Effect of inoculating mixed starter cultures of *Lactobacillus* and *Staphylococcus* on bacterial communities and volatile flavor in fermented sausages. *Food Science and Human Wellness*, 12, 200–211. <https://doi.org/10.1016/j.fshw.2022.07.010>
- Manassi, C. F., & Steinmetz de Souza, S. (2022). Functional meat products: Trends in pro-, pre-, syn-, para- and post-biotic use. *Food Research International*, 154, 111035. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2022.111035>
- Manzoor, A., Ahmad, S., & Basharat, Y. (2022). Effect of bioactive-rich mango peel extract on physicochemical, antioxidant and functional characteristics of chicken sausage. *Applied Food Research*, 2, 100183. <https://doi.org/10.1016/j.afres.2022.100183>
- McKenna, J. (2019). Evaluation of citrus fiber as a natural replacer of sodium phosphate in alternatively-cured all-pork Bologna sausage. *Meat Science*, 157, 107883. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2019.107883>
- Nowak, A., Czyzowska, A., & Efenberger, M. (2016). Polyphenolic extracts of cherry (*Prunus cerasus* L.) and blackcurrant (*Ribes nigrum* L.) leaves as natural preservatives in meat products. *Food Microbiology*, 59, 142–149. <https://doi.org/10.1016/j.fm.2016.06.004>
- Ropars, J., & Giraud, T. (2022). Convergence in domesticated fungi used for cheese and dry-cured meat maturation: beneficial traits, genomic mechanisms, and degeneration. *Current Opinion in Microbiology*, 70, 102236. <https://doi.org/10.1016/j.mib.2022.102236>
- Sallan, S., Kaban, G., & Kaya, M. (2022). The effects of nitrite, sodium ascorbate and starter culture on volatile compounds of a semi-dry fermented sausage. *LWT*, 153, 112540. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2021.112540>
- Serdaroglu, M. (2023). Effects of natural nitrite sources from arugula and barberry extract on quality characteristic of heat-treated fermented sausages. *Meat Science*, 198, 109090. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2022.109090>
- Wang, X., Zhang, Y., & Ren, H. (2018). Comparison of bacterial diversity profiles and microbial safety assessment of salami, chinese dry-cured sausage and chinese smoked-cured sausage by high-throughput sequencing. *LWT*, 90, 108–115. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2017.12.011>
- Zang, J., Xu, Y., & Xia, W. (2018). Dynamics and diversity of microbial community succession during fermentation of suan yu, a chinese traditional fermented fish, determined by high throughput sequencing. *Food Research International*, 111, 565–573. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2018.05.076>
- Zdolec, N., & Mikuš, T. (2022). Chapter 8 – lactic acid bacteria in meat fermentation: dry sausage safety and quality. *Lactic Acid Bacteria in Food Biotechnology*. Elsevier, 145–159. <https://doi.org/10.1016/B978-0-323-89875-1.00007-9>

<https://doi.org/10.36107/hfb.2023.i2.s173>

Актуальность использования рыбных белковых гидролизатов в технологии пищевых продуктов

А. В. Югай

Российский биотехнологический университет («РОСБИОТЕХ»),
Москва, Россия

Корреспонденция:

Югай Алефтина Витальевна,
Российский биотехнологический университет (РОСБИОТЕХ),
125080, Россия, г. Москва,
Волоколамское шоссе, 11
E-mail: kerchak1979@gmail.com

Конфликт интересов:

автор сообщает об отсутствии конфликта интересов.

Поступила: 21.07.2023

Поступила после
рецензирования: 28.09.2023

Принята: 28.09.2023

Copyright: © 2023 Автор

АННОТАЦИЯ

Введение. Проблема белкового дефицита особенно остро проявляется в последнее время ввиду того, что увеличение численности населения обуславливает увеличение вылова морских биоресурсов. Нерациональный подход в освоении ценного белкового сырья приводит к образованию большого количества отходов, отбросов на фоне невосполнимости промысловых видов рыб, например, бычков или керчаков. В статье представлены данные об актуальности использования рыбных белковых гидролизатов (РБГ), получаемых из вторичного сырья, современных проблемах в рыбообрабатывающей промышленности, приведена информация о свойствах РБГ, показана возможность их применения в пищевой промышленности. Гидролизаты проявляют различные функциональные свойства, что расширяет горизонты их практического применения, следовательно, частично может реализоваться потребность в комплексной переработке сырья. В статье приведены научные подтверждения о необходимости дальнейших исследований гидролизатов, полученных при воздействии ферментов различного происхождения.

Цель. Провести аналитический обзор современной научной литературы, показать актуальность использования рыбных гидролизатов в технологии пищевой продукции и перспективность исследований в этом направлении.

Материалы и методы. На основании изучения современных отечественных и зарубежных научных данных проведен теоретический, системный и сравнительный анализ существующих разработок в области пищевого использования РБГ. Поиск зарубежных научных трудов проводился в библиографических и реферативных базах Google Scholar, Scopus, Web of Science, ResearchGate, а также среди публикаций издательств Elsevier (Science Direct) и MDPI по ключевым словам.

Результаты и их применение. Научные изыскания в области получения источников незаменимых аминокислот, полноценных белков продолжают довольно длительное время. В начале 60-х годов прошлого столетия рыбные гидролизаты рассматривались исключительно как добавка к животному корму или сырье для получения рыбного жира. В настоящее время установлено, что рыбные гидролизаты в зависимости от молекулярной массы пептидов могут проявлять различные функциональные свойства, положительно влиять на лечение диабета, уменьшать уровень стресса, улучшать вкус готового продукта, использоваться в качестве эмульгаторов и пенообразователей, повышать биологическую и пищевую ценность. Многие закономерности проявления биологических свойств гидролизатов до конца не изучены, поэтому дальнейшие исследования в этом направлении актуальны и перспективны.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА

рыбные белковые гидролизаты, коллаген, ферменты, гидролиз, вторичное сырье, функциональные свойства



Для цитирования: Югай, А. В. (2023). Актуальность использования рыбных белковых гидролизатов в технологии пищевых продуктов. *Health, Food & Biotechnology*, 5(2), 51-65. <https://doi.org/10.36107/hfb.2023.i2.s173>

<https://doi.org/10.36107/hfb.2023.i2.s173>

Fish Protein Hydrolysates: Relevance of Their Use in Food Technology

Alevtina V. Yugay

Russian Biotechnological University
(BIOTECH University), Moscow, Russia

Correspondence:

Alevtina V. Yugay

Russian Biotechnological University,
11, Volokolamskoe highway, Moscow,
125080, Russia

E-mail: kerchak1979@gmail.com

Declaration of competing interest:

none declared.

Received: 21.07.2023

Received in revised form: 28.09.2023

Accepted: 28.09.2023

Copyright: © 2023 The Author

ABSTRACT

Introduction. The problem of protein deficiency has become especially acute in recent years due to the fact that the increase in population causes an increase in the catch of marine biological resources. An irrational approach to the development of valuable protein raw materials leads to the formation of a large amount of waste and waste against the background of the lack of demand for non-commercial fish species, for example, gobies or sculpins. The article presents data on the relevance of the use of fish protein hydrolysates (FPH) obtained from secondary raw materials, current problems in the fish processing industry, provides information on the properties of FPH, and shows the possibility of their use in the food industry. Hydrolysates exhibit various functional properties, which expands the horizons of their practical application; therefore, the need for complex processing of raw materials can be partially realized. The article provides scientific evidence of the need for further research on hydrolysates obtained under the influence of enzymes of various origins.

Purpose. To analyze modern scientific literature, to show the relevance of the use of fish hydrolysates in food technology and the prospects of research in this direction.

Materials and Methods. Based on the study of modern domestic and foreign scientific data, a theoretical, systematic and comparative analysis of existing developments in the field of food use of FPH was carried out. The search for foreign scientific papers was carried out in bibliographic, abstract and citation databases Google Scholar, Scopus, ResearchGate, as well as in the bases of Elsevier (Science Direct) and MDPI publishing houses using keywords.

Results. Scientific research in the field of obtaining sources of essential amino acids and complete proteins has been going on for quite a long time. In the early 60s of the last century, fish hydrolysates were considered exclusively as an additive to animal feed or raw materials for the production of fish oil. It has now been established that fish hydrolysates, depending on the molecular weight of the peptides, can exhibit various functional properties, have a positive effect on the treatment of diabetes, reduce stress levels, improve the taste of the finished product, be used as emulsifiers and foaming agents, and increase biological and nutritional value. Many patterns of manifestation of the biological properties of hydrolysates have not been fully studied, so further research in this direction is relevant and promising.

KEYWORDS

fish protein hydrolysates, collagen, enzymes, hydrolysis, secondary raw materials, functional properties



To cite: Yugay, A. V. (2023). Fish Protein Hydrolysates: Relevance of Their Use in Food Technology. *Health, Food & Biotechnology*, 5(2), 51-65. <https://doi.org/10.36107/hfb.2023.i2.s173>

ВВЕДЕНИЕ

Биологическая ценность продукта определяется наличием в нем всех незаменимых аминокислот, потому что для физиологических нужд расходуется белок, который поступает с пищей (Freeman et al., 1983). К 2050 году население мира может достичь порядка 9,7 млрд человек, что напрямую связано с увеличением потребности в белках в рационе человека (Hadidi et al., 2023).

Ценным источником белка считаются продукты животного происхождения, в том числе и гидробионты (Ahuja et al., 2020). Несмотря на то, что потребление рыбы по сравнению с шестидесятью годами прошлого столетия увеличилось более чем в два раза и опережает выработку продукции из наземных животных (Tacon et al., 2017; Wenning, 2020), дефицита белка в рационе человека не стало меньше, более того он приобрел серьезный характер^{1, 2, 3}.

Сложившаяся ситуация может быть обусловлена следующими причинами: глобализация и изменение пищевых привычек населения, преобладание липидов и углеводов, небольшой ассортимент качественной продукции по доступным ценам и высокой биологической ценностью, нехватка ресурсов для производства легкоусвояемой белковой пищи, нерациональное использование гидробионтов, и малоэффективные способы их переработки, потеря большого количества белка в виде недоиспользуемых видов рыб, рыбных отходов и вторичного сырья и т.д. Иными словами, обеспечение населения полноценными белками достаточно затруднительно без комплексной переработки гидробионтов и, как следствие, безотходного производства.

Одним из возможных путей решения этой проблемы можно считать производство рыбных белковых гидролизатов, получаемых из вторичного сырья и отходов от разделки рыб.

В связи с изложенным целью работы является аналитический обзор научной литературы в области ферментного гидролиза, его использования при производстве рыбных гидролизатов и их применение в пищевой промышленности. Полученные данные позволят сформировать общее представление о проблемах рыбной отрасли и перспективах ее развития с точки зрения рациональной переработки. Для достижения поставленной

цели необходимо было провести анализ современных научных достижений как отечественных, так и зарубежных ученых, показать преимущества и недостатки существующих разработок.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

На основании изучения современных отечественных и зарубежных научных данных проведен теоретический, системный и сравнительный анализ существующих разработок в области пищевого использования РБГ. Поиск зарубежных научных трудов проводился в библиографических и реферативных базах Google Scholar, Scopus, Web of Science, ResearchGate, а также среди публикаций издательств Elsevier (Science Direct) и MDPI по ключевым словам: «рыбные белковые гидролизаты», «коллаген», «ферменты», «гидролиз», «вторичное сырье», «функциональные свойства». Для анализа был отобран 71 источник.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Предпосылки для разработки технологии рыбных белковых гидролизатов

В рыбной промышленности на долю традиционной продукции (охлажденная, замороженная, копченая и т.д.) приходится 80 % от всего производимого ассортимента (Yan et al., 2015; Клещевский и др. 2017). В процессе переработки образуется много твердых отходов и сточных вод, которые загрязняют окружающую среду органикой, содержащей значительные количества нутриентов. В то же время в современном мире ученые показывают необходимость комплексной переработки гидробионтов по причине того, что огромное количество отходов и некондиционного сырья выбрасывается за борт.

Так, авторами (Hordur et al., 2000) показано, что рыбная промышленность существенно недоиспользует ресурсы, образующиеся в результате производства основной продукции. По данным FAO общий вылов гидробионтов в 2014 в мировом масштабе году составил более 160 млн тонн в отходы попало более 14 млн тонн. По подсчетам, если всю рыбу направить на переработку, то дополнительно появится еще 36 млн тонн вторичного сырья, из которого можно получить пищевые продукты⁴.

¹ ООН Питание. (2021, Май). *Роль пищевой продукции из водных биоресурсов в формировании устойчивого и здорового рациона питания* https://www.unnnutrition.org/wp-content/uploads/Aquatic-foods-and-SHD-Paper_RUok.pdf.

² Food and Agriculture Organization. (2020, May). *The State of World Fisheries and Aquaculture. Sustainability in action*. Rome. <https://doi.org/10.4060/ca9229en>

³ Food and Agriculture Organization. (2022, May). *The State of World Fisheries and Aquaculture. Towards Blue Transformation*. Rome, FAO. <https://doi.org/10.4060/cc0461en>

⁴ Food and Agriculture Organization. (2016, May). *The State of World Fisheries and Aquaculture. Contributing to food security and nutrition for all*. Rome. pp. 200. <https://www.fao.org/3/i5555e/i5555e.pdf>

По данным Российской газеты в июне 2020 года в Северном бассейне совокупный вылов составил 234,6 тыс. тонн, примерно 75 тыс. тонн было выброшено за борт⁵. По данным (Андриянова, 2011; Соколов, 2019) из пяти миллионов тонн добываемых в России водных биоресурсов более полутора тонн рыбы не используется, оставшееся сырье образует порядка 35 % отходов. Если рыба идет на производство филе, то процент отходов может увеличиться до 60 %, доходя на некоторых производствах до 90 %⁶.

Значительная часть рыбных отходов выбрасывается, часть направляется на производство кормовой муки, удобрения или рыбного жира. Производство такой продукции малорентабельно, следовательно, рыбная промышленность существенно недополучает прибыль, а организм — ценные нутриенты (Mo et al., 2018; Stevens et al., 2018).

Один из способов удовлетворить дефицит белка — это развитие новых технологий в области функциональных ингредиентов, создание условий, при которых экстракция и получение БАД, пищевой продукции будут экономически целесообразнее, чем сжигание, закапывание в землю или выбрасывание за борт. Стоит учесть момент, что при развитой рыночной системе разнообразие рациона из гидробионтов — необходимое условие. Расширение ассортимента продукции из непромысловых гидробионтов (маломерные, непромысловые виды рыб, моллюски, ракообразные) позволит снизить пресс на традиционные виды рыб вследствие сокращения объемов их вылова⁷.

Нетрадиционные виды рыб или непромысловые — тот потенциал, который не принимают во внимание, хотя они содержат полноценные белки, ненасыщенные жирные кислоты, ценные минеральные вещества. Именно это сырье может стать частичной заменой промысловым видам рыб или мясному сырию. Одним из таких видов рыб могут считаться скорпенообразные сем. Cottidae (бычки или керчаки).

Применительно к рыбным объектам должно применяться эффективное использование: усовершенствование технологий безотходной переработки биологических ресурсов, увеличение сроков годности за счет барьерных технологий, разработка технологий полуфабрикатов высокой степени готовности, гидролизатов и концентратов из вторичного сырья⁸.

Согласно проекту Федерального закона № 74417–8 законом вводятся понятия вторичные ресурсы и вторичное сырье. В привычном понимании вторичные ресурсы — это то, что образуется в процессе производства основной группы товаров, то есть отходы. Вторичное сырье — это продукция, которая может быть получена из отходов без предварительной обработки в ходе технологического процесса⁹. Для гидробионтов — рыб, в частности, это кожа, головы, кости, хребты, ЖКТ и т.д.¹⁰ (Idowu et al., 2019).

Цитируя слова академика И.П. Бардина — «отходы одних технологических переделов или производств должны служить сырьем для других», можно сказать, что в этом и кроется проблема. То есть недоиспользуемое вторичное сырье может быть перенаправлено на производство пищевой продукции, при этом повысится эффективность переработки биологических ресурсов, а сам подход будет выгоднее и экологичнее, чем получение только кормовой муки (Рисунок 1).

В настоящее время рафинированный белок достаточно востребован во всем мире: в 2019 году товарооборот рынка белковых концентратов вырос более, чем на 40 %, импортировано в Россию на 30 % больше по сравнению с годом ранее¹¹.

Глобальное увеличение спроса на продукцию из водных биоресурсов животного происхождения влечет за собой серьезные проблемы: значительное количество белковых отходов от переработки рыбы может стать угрозой экологической безопасности и экономики страны, поэтому вовлечение в технологический процесс таких

⁵ Михайлов, А. (2020, Июнь 23). Почему треть добытой рыбаками рыбы выбрасывается в море. <https://rg.ru/2020/06/23/reg-szfo/pochemu-tret-dobytoj-rybakami-ryby-vybrasyvaetsia-v-more.html>

⁶ там же.

⁷ Продовольственная и сельскохозяйственная организация Объединенных наций. (2018, Май). Состояние мирового рыболовства и аквакультуры. Достижение целей устойчивого развития. Рим <https://www.fao.org/3/i9540ru/i9540ru.pdf>

⁸ Richardsen, R., Nystøyl, R., & Marthinussen, A. (2015). *Analyse marint resteraostoff*. [Analysis of marine residues. Report. Analysis of access and use for marine residual substances in Norway. SINTEF Fisheries and Seabreeding, Trondheim]. Rapport. Analyse av tilgang og anvendelse for marint resteraostoff i Norge. SINTEF Fiskeri og Havbryk, Trondheim.

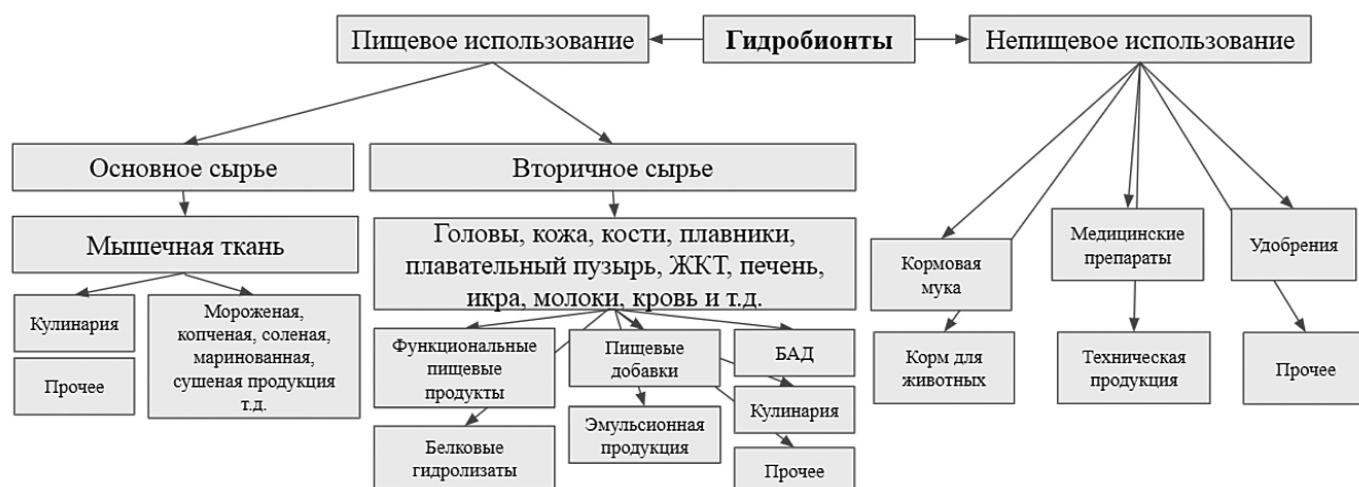
⁹ Пресс-служба Минприроды России. (2023, Март 3). С 1 марта 2023 года вступил в силу федеральный закон, который разъяснил понятия «вторичные ресурсы» и «вторичное сырье» на правовом уровне. <https://mpr.orb.ru/presscenter/news/85022/>

¹⁰ Aylangan, A., & Öztan, A. (2008). Protein hydrolysate production using by-products of animal food industry, Turkey 10. *Food Congress*; 21–23 May Erzurum

¹¹ Михайлов, А. (2020, Июнь 23). Почему треть добытой рыбаками рыбы выбрасывается в море. <https://rg.ru/2020/06/23/reg-szfo/pochemu-tret-dobytoj-rybakami-ryby-vybrasyvaetsia-v-more.html>

Рисунок 1

Комплексное использование гидробионтов



ресурсов позволит по-новому взглянуть на проблему дефицита белка в рационе человека, более рационально их использовать, в том числе для производства рыбных гидролизатов.

Ферментный гидролиз

Известно, что рыбные субпродукты или вторичное сырье богаты белками, в том числе, коллагеном, причем, значительное их количество содержится в коже, плавниках, чешуе рыб. Возрастающая популярность коллагена из гидробионтов обусловлена высокой идентичностью с человеческим, а также тем, что рыбный желатин, получаемый из него, более приемлем по религиозным убеждениям и безопаснее (Derkach et al., 2020; Ahmed et al., 2020; Usman et al., 2022; Kostyleva et al., 2023).

Ферменты — это биологические катализаторы, получаемые из животного и растительного сырья (пепсин, коллагеназа, папаин, фицин и т.д.) (Wijesekara et al., 2011; Salampessy et al., 2017; Ha et al., 2017; Chel-Guerrero et al., 2020; Ryu et al., 2021). Спектр их использования расширяется с каждым годом, так как они достаточно востребованы в различных отраслях, в том числе и в пищевой промышленности (Bazhenov et al., 2023):

- созревание рыбы при посоле;
- обесшкуривание сырья (отделение мяса от панцирей ракообразных, обесшкуривание кальмара);
- тендеризация мясного сырья;
- ферментация растительного сырья;
- ферментированная пищевая продукция (рыбные соусы);
- рыбные гидролизаты (пептиды и аминокислоты);
- кормовая продукция;
- БАД.

Существуют следующие способы гидролиза: химические (щелочная и кислотная обработка) (Raghavan et al., 2008; Thawornchinsombut et al., 2007) и ферментативные. При химическом гидролизе применяют растворы солей (хлориды и карбонаты натрия), щелочь, минеральные кислоты, органические растворители. Вещества, получаемые после химической обработки, представлены белковыми (белковые концентраты и изоляты), минеральными (преципитаты) и липидной фракциями. Продукты гидролиза, содержащие жидкую белковую фракцию, условно делят на концентраты, гидролизаты и изоляты. Если степень гидролиза белка в субстрате превышает 40 %, то это гидролизат, если в ходе процесса выделяют белковую фракцию — концентраты, обезжиренные белковые концентраты называют изолятами (концентрат миофибриллярных белков). Существенным недостатком этого способа является потеря способности белков проявлять свойства эмульгаторов и пенообразователей, так как происходит разрушение их структуры (Bucci et al., 2000).

Гидролиз, проводимый с помощью органических растворителей, позволяет получать продукт с высокой пищевой ценностью и хорошими органолептическими показателями (отсутствует специфический вкус и запах рыбы). К недостаткам этого способа переработки, как и в предыдущем случае, является потеря функциональных свойств белка. Как следствие, белки, полученные таким способом, теряют эмульгирующую и пенообразующую способности (Kristinsson et al., 2000; Петров и др., 2012; Siddik et al., 2020; Gao et al., 2021).

Ферментативный гидролиз является одним из методов в пищевой биотехнологии, при котором не разрушаются свободные аминокислоты, а сам процесс можно контролировать и направлять (Nemati et al., 2012). Для этого

используют ферменты животного, растительного, микробиологического происхождения. Ферменты внутренних или мышечной ткани рыб можно применять в нативном виде (без выделения и очищения), в этом случае гидролиз безопасен для окружающей среды, в ходе процесса можно регулировать скорость протеолиза, как следствие — молекулярную массу пептидов (Zhang et al., 2015; Zamora-Sillero et al., 2018). В ходе гидролиза накапливаются фрагменты белка с меньшей молекулярной массой, аминокислоты, которые в совокупности облегчают процесс усваивания организмом. По мнению ученых (Kim et al., 2010) такой метод более предпочтителен в пищевой промышленности, потому что в продукте после гидролиза отсутствуют остаточные количества органических растворителей или химических реагентов. Основные технологические операции при ферментном гидролизе: измельчение сырья, приготовление раствора фермента при заданном pH, перемешивание, термостатирование, инактивация.

В работе показан способ обработки голов, костей и кожи керчаков их желудочными ферментами (максимальная активность наблюдается при pH 5–6): субпродукты измельчали, добавляли измельченную желудочную ткань и термостатировали 4–5 часов при температуре 30 °C, затем смесь нагревали до 100 °C в течении 10–15 мин для инактивации ферментов и фильтровали в горячем виде (Югай, 2009). Подобная обработка сырья позволяет получать белоксодержащий продукт, который можно направлять на производство эмульсионной продукции.

Установлено, что сочетание термического и ферментативного гидролиза также дает положительный эффект (Хелинг и др., 2016): сырье от разделки сардины измельчали, гомогенизировали, вносили ферментный препарат микробиологического происхождения Alcalase 2,5L, термостатировали при температуре 50 °C в течение 6 ч при гидромодуле 1:1. Затем смесь подвергали термической обработке при температуре 130 °C в течение часа и после охлаждения фильтровали. Комбинированный способ обеспечивает высокий выход белковой фракции из отходов от разделки сардины — до 90 %.

Учеными ВНИРО проводились исследования по ферментной обработке кожи рыб водным раствором коллагеназы при температуре 35 °C в течение 2,5 ч. Установлено, что такие параметры протеолиза рыбного сырья позволяют получить пептиды с молекулярной массой до 25 кДа, с выраженными функционально-технологическими свойствами (Бредихина и др., 2019).

Белковые гидролизаты — результат деятельности ферментов в субстрате. В процессе гидролиза происходит накопление пептидов разного размера, аминокислот. По этой причине гидролизаты могут найти применение как заменители молока, белковые добавки, стабилизаторы

напитков, улучшители вкуса в кондитерских изделиях (Skanderby et al., 1994).

Применение рыбных белковых гидролизатов в пищевой промышленности

Учеными доказано, что исследование процессов гидролиза рыбных белков имеет значение для перспективных технологий и получения биологически активных добавок (Sen et al., 1962; Wangkheirakpam et al., 2019; Heffernan et al., 2021).

Известно, что по сравнению с наземными животными в рыбе меньше соединительной ткани, так как нагрузка на мышечную ткань меньше, поэтому она легче подвергается ферментативному гидролизу (Espe et al., 2004; Suleria et al., 2016; Listrat et al., 2016).

Ученые (Phadke et al., 2021) утверждают, что препараты, содержащие фрагменты белков — низкомолекулярные пептиды, эффективны в лечении многих заболеваний. Отмечено, что природные источники пептидов более перспективное сырье, чем синтетические препараты. Рыбные гидролизаты, содержащие низкомолекулярные пептиды, могут благотворно воздействовать на физиологические функции человека, участвовать в профилактике и лечении заболеваний неинфекционного генеза. Объясняется это тем, что активные пептиды (Hartmann et al., 2007; Belhaj et al., 2013) проявляют антиоксидантные, антимикробные, противоопухолевые, противодиабетические, гепатопротекторные и кардиопротекторные свойства, что подтверждается многочисленными научными данными (Akilioğlu, 2010; Kim et al., 2012; Ruthu et al., 2014; Halim et al., 2018; Messaoudi et al., 2018).

Установлено, что гидролизаты трески могут проявлять антигипертензивные свойства, если молекулярная масса пептидов составляет от 10 до 30 кДа, антиоксидантная активность обнаружена в гидролизатах горбыля (молекулярная масса пептидов до 10 кДа) (Jeon et al., 1999; Chi et al., 2015).

Отмечено, что гидролизаты проявляют хорошие эмульгирующие, пенообразующие свойства, положительно влияя на реологию и структуру пищевых систем (Souissi et al., 2007). Меняя условия гидролиза: pH, продолжительность, гидромодуль, температуру процесса, можно получить широкий спектр систем с разными характеристиками. Учеными установлено, что рыбный гидролизат можно использовать вместо белковых гидролизатов молочного и растительного происхождения (Binsi et al., 2016). Гидролизат, полученный из мяса скиллы (ракообразные) при добавлении в панировочный кляр эффективно снижает абсорбцию масла в продукте при обжаривании. Ранее было установлено (Югай и др.,

2014), что обработка ферментами вторичного сырья, полученного от разделки бычков сем. Cottidae позволяет получать однородные пищевые эмульсии с высокой пищевой ценностью. К несомненному преимуществу такой обработки относится возможность проведения гидролиза в естественном диапазоне pH равном 4–5. При таком уровне pH наблюдается максимальная активность слабодиссоциированных протеиназ ферментов желудка бычков.

Исследования, направленные на изучение гидролизатов из пестрого толстолобика, показали, что после ферментирования фицином, концентрацией 3 % при pH 6 и температуре 40 °C получались стабильные пищевые эмульсии с хорошей водо- и маслоудерживающей способностью (Alahmad et al., 2022). Еще одна технология базируется на получении сухого препарата из смеси яичного белка, к-каррагинана и гидролизата рыбного белка на основе вторичного сырья. Вторичное сырье от разделки рыбы (кожа, кости) измельчали и ферментировали алкалазой. Смесь к-каррагинана и яичного белка растворяли в теплой воде при гидромодуле 1:10, добавляли глютаминат натрия и гомогенизировали 5 мин, 14 000 об/мин, при температуре 20–22 °C. Для предотвращения окислительных процессов вносили α-токоферол. Полученную эмульсию сразу после приготовления распыляли в мини-распылительной сушилке. После высушивания смесь доводили до порошкообразного состояния для дальнейшего использования. Рыбный фарш измельчали с дробленым льдом и вносили порошок на основе яичного белка и к-каррагинана в количестве 8 %, смесь гомогенизировали в течение 30 с. Полученное тесто порционировали на кусочки массой 80 г и высушивали до кулинарной готовности. Далее кусочки обжаривали с двух сторон на растительном масле, получали продукт с положительными органолептическими свойствами и длительным сроком хранения (Gómez-Guillén et al., 2023).

Суанью (Suanyu) — популярное блюдо в Китае, получаемое ферментацией рыбы в течение длительного времени. После созревания оно приобретает уникальный вкус и аромат. Сырьем для производства суанью является белый амур и карп. Технология предусматривает добавление в рыбу кукурузного крахмала и созревание под действием собственных ферментов рыб. Созревший продукт отличают высокие органолептические показатели и длительный срок хранения. В последние годы ферментация смешанными культурами (ферменты рыб, молочнокислые бактерии, молочнокислые закваски) широко используется в различных областях пищевой промышленности Китая для получения деликатесной продукции из рыбного филе и кишок. Исследования показали, что смесь ферментов и микроорганизмов повышает их устойчивость по отношению к патогенной микрофлоре, ингибируя рост последней (Zeng et al., 2013).

Исследования показали, что использование рыбных гидролизатов из голов лососевых в качестве добавки к пище способствует уменьшению уровня стресса. Было установлено, что гидролизаты проявляют анксиолитическую активность, то есть снижают тревожное состояние старых мышей и восстанавливают уровень кортикостерона в плазме (Bernet et al., 2000; Freret et al., 2021; Le Faouder et al., 2022).

Рыбные гидролизаты могут быть использованы в качестве пищевой добавки к продуктам питания в виде порошка. Для этого гидролизаты пастеризуют, концентрируют и высушивают (Espinoza et al., 2022). Порошки, полученные после ферментного гидролиза, растворяются в воде лучше, чем после кислотного или щелочного, что упрощает их применение (Hassan et al., 2018).

Авторами (Nesse et al., 2014; Fernandes, 2016) проведено исследование возможности использования гидролизата на основе атлантического лосося в качестве пищевой добавки для детей, страдающих дефицитом белка в питании. В эксперименте участвовали дети в возрасте от шести до восьми лет, которые получали препарат на протяжении четырех месяцев. В составе препарата присутствуют ди- и трипептиды с молекулярной массой до 10 кДа, витамины и минеральные вещества. Дозировка в количестве 6 г/день положительно сказалась на изменении индекса массы тела у детей, при этом не вызвала побочных эффектов, поэтому добавка была рекомендована в качестве источника белка и незаменимых аминокислот в рационе детей.

Ирландские ученые (Harnedy-Rothwell et al., 2021) показали, что пептиды и аминокислоты, содержащиеся в рыбных гидролизатах путассу, проявляли антидиабетическую активность *in vitro* и контролировали аппетит *in vivo*, что позволит в будущем получать продукты на их основе.

Расулов Э. разработал технологию получения рыборастворительных тефтелей, котлет с добавлением белкового гидролизата, полученного из воблы и уклей. Технология предусматривает предварительный гидролиз при участии ферментов внутренностей рыб и последующее добавление гидролизата в рыборастворительный фарш (Расулов, 2006). При этом улучшается его консистенция, увеличивается выход готовой продукции и улучшаются органолептические показатели.

ОБСУЖДЕНИЕ

В процессе переработки рыбы по данным (Muhammad et al., 2022) может накапливаться до 75 % отходов, которые, с одной стороны, могут стать угрозой экологической обстановке, а с другой — ценным белковым сырьем. Причем с увеличением объемов промысла рыбы

будут существенно увеличиваться и отходы. Несомненно, что рыбные белковые гидролизаты представляют интерес для многих отраслей промышленности, в том числе и пищевой: как белоксодержащее сырье и источник незаменимых аминокислот. Благодаря протеолитическим ферментам в ходе ферментативного гидролиза накапливаются фрагменты пептидов с разной молекулярной массой, которые и обуславливают функциональные свойства гидролизатов. Актуальность производства рыбных гидролизатов неоспорима: налаживание экспорта и сотрудничество с иностранными бизнес-партнерами¹², отработка технологии на производстве совместно с учеными¹³. В то же время имеются сложности, связанные с адаптацией гидролизатов в пищевом направлении. В частности, наличие рыбного запаха (Yarnpakdee et al., 2012) и небольшой горечи может считаться недостатком для их использования в качестве пищевых добавок. Однако эксперименты показали, что (Зарубин и др., 2016) использование лимонной кислоты значительно нивелирует рыбный запах в гидролизатах, не влияя на их качественные показатели, и что немало важно — не оказывает негативного влияния на желудочно-кишечный тракт. Рыбные гидролизаты открывают широкие перспективы для их внедрения пищевую промышленность, значительно расширяя не только ассортимент, сколько функциональность готовой продукции, что можно считать большим шагом в вопросе бережного освоения морских ресурсов.

Многочисленные научные данные подтверждают, что рыбные белковые гидролизаты — перспективное направление в науке, требующее дальнейшего изучения, нуждающееся в новых доказанных фактах о безопасности и пользе продуктов на их основе.

ЛИТЕРАТУРА

Андриянова, Е. В. (2011). Логистизация работы с отходами гидробионтов как фактор ресурсосбережения на предприятиях рыбной промышленности. *РИСК*, (1), 111–118.

Бредихина, О. В., & Зарубин, Н. Ю. (2019). Разработка комплексной технологии переработки органических отходов рыбоперерабатывающих предприятий на коллагенсодержащие гидролизаты пищевого назначения. *Труды ВНИРО. Технология переработки водных биоресурсов*, 176, 109–121.

ВЫВОДЫ

Популярность гидробионтов в настоящее время обусловлена многими факторами, в том числе, высокой пищевой ценностью продуктов, производимых из них, отличными гастрономическими качествами, широким диапазоном возможностей для получения лекарств, БАД, пищевых добавок, технической продукции и т.д. Наряду с большим спросом имеются серьезные проблемы с существенным недоиспользованием как промысловых, так и непромысловых видов рыб, значительным количеством вторичного сырья, которое, как правило, утилизируется или идет на производство кормовой муки. Комплексное использование гидробионтов — актуальная задача в современном мире. На основании обзора современных научных данных установлено, что одним из путей решения поставленной задачи является производство рыбных гидролизатов.

Рыбные гидролизаты уникальны по своему химическому составу, биологической ценности. Варьирование режимов ферментативного гидролиза позволяет получать пептиды и аминокислоты, обладающие функциональными свойствами: пептиды небольшой молекулярной массы (до 10 кДа) проявляют антигипертензивные, гепатопротекторные, антиокислительные свойства, с увеличением молекулярной массы проявляются эмульгирующие и пенообразующие свойства, добавление их к рациону позволит обогатить его эссенциальными аминокислотами, улучшить органолептические свойства, расширить ассортимент, увеличить спрос на новые виды продукции. Перспективность использования рыбных гидролизатов не вызывает сомнений, что также подтверждается многочисленными исследованиями в пищевой, биологической, медицинской областях науки.

Зарубин, Н. Ю., Литвинова, Е. В., Фролова, Ю. В., & Бредихина О. В. (2016). Новые данные об использовании коллагеновых гидролизатов в технологии рыбных полуфабрикатов. *Пищевая промышленность*, (12), 21–24.

Клещевский, О. Н., Николаева, М. А., & Рязанова, О. А. (2017). Современное состояние и перспективы развития рынка рыбы и рыбных товаров в России. *Вестник Кемеровского государственного университета. Серия: Политические, социологические и экономические науки*, (3), 34–42.

¹² Североморское межрегиональное управление Россельхознадзора. (2023, Август 9). Рыбный гидролизат экспортируется в страны ЕС с территории Мурманской области. <https://www.fishnet.ru/news/rynok/rybnyy-gidrolizat-eksportiruetsya-v-strany-es-s-territorii-murmanskoy-oblasti/>

¹³ Коммерсант. Рыболовство. (2021, Июль 7). «Агама» чистит треску. <https://www.kommersant.ru/doc/4909545>

- Расулов, Э. М. (2006). Разработка технологии продуктов функционального питания на основе использования белковых рыбных гидролизатов [Кандидатская диссертация, Кубанский государственный технологический университет]. Краснодар, Россия.
- Соколов, А. В. (2019). Современное состояние и тенденции развития рыбохозяйственного комплекса России. *Технологии пищевой и перерабатывающей промышленности АПК – продукты здорового питания*, (4), 36–48.
- Хелинг, А., Гримм, Т., Волков, В. В., & Мезенова, Н. Ю. (2016). Исследования различных способов гидролитического процесса вторичного рыбного сырья консервного производства. *Вестник Международной академии холода*, (1), 3–8. <https://doi.org/10.21047/1606-4313-2016-16-1-3-8>
- Югай, А. В. (2009). Обоснование пищевого использования бычков семейства Cottidae. *Известия ТИНРО*, 156, 341–347.
- Югай, А. В., & Ковалева, Е. А. (2014). Современные технологии в комплексной переработке гидробионтов. *Фундаментальные исследования*, (11–8), 1713–1716.
- Ahmed, M., Verma, A. K., & Patel, R. (2020). Collagen extraction and recent biological activities of collagen peptides derived from sea-food waste: a review. *Sustainable Chemistry and Pharmacy*, 18, 100315. <https://doi.org/10.1016/j.scp.2020.100315>
- Ahuja, I., Dauksas, E., Remme, J. F., Richardsen, R., & Løes, A. K. (2020). Fish and fish waste-based fertilizers in organic farming – With status in Norway: A review. *Waste management (New York, N.Y.)*, 115, 95–112. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2020.07.025>
- Akilloğlu, H. G., & Yalçın, E. (2010) Tahıl protein hidrolizatlarının antioksidan aktiviteleri [Antioxidant activities of cereal protein hydrolysates], *Gıda*, 35(3), 227–233.
- Alahmad, K., Xia, W., Jiang, Q., & Xu, Y. (2022). Effect of the degree of hydrolysis on nutritional, functional, and morphological characteristics of protein hydrolysate produced from bighead carp (*Hypophthalmichthys nobilis*) using ficin enzyme. *Foods*, 11, 1320. <https://doi.org/10.3390/foods11091320>
- Bazhenov, E. A., Baydalinova L. S., & Grimm T. (2023). Technology of proteolytic enzymes production from the digestive organs of fish of coastal fisheries in the North-Western region. *Journal of International Academy of Refrigeration*, (1), 66–77. <https://doi.org/10.17586/1606-4313-2023-22-1-66-77>
- Belhaj, N., Desor, F., Gleizes, C., Denis, F.M., Arab-Tehrany, E., Soulimani, R., & Linder, M. (2013). Anxiolytic-like effect of a salmon phospholipopeptidic complex composed of polyunsaturated fatty acids and bioactive peptides. *Marine Drugs*, (11), 4294–4317. <https://doi.org/10.3390/md11114294>
- Bernet, F., Montel, V., Noël, B., & Dupouy, J. P. (2000). Diazepam-like effects of a fish protein hydrolysate (Gabolysat PC60) on stress responsiveness of the rat pituitary-adrenal system and sympathoadrenal activity. *Psychopharmacology*, 149, 34–40. <https://doi.org/10.1007/s002139900338>
- Binsi, P. K., Viji P., Satyen K. P., Suseela M., Zynudheen, A. A., & Ravishankar, C. N. (2016). Characterization of hydrolysates prepared from engraved catfish (*Nemapteryx caelata*) roe by serial hydrolysis. *Journal of Food Science and Technology*, 53(1), 158–70. <https://doi.org/10.1007/s13197-015-1998-6>
- Bucci, L., & Unlu, L. (2000). Proteins and amino acids in exercise and sport. In J. Driskell & I. Wolinsky (eds.) *Energy-yielding macronutrients and energy metabolism in sport nutrition*. CRC-Press.
- Chel-Guerrero, L., Estrella-Millán, Y., Betancur-Ancona, D., Aranda-González, I., Castellanos-Ruelas, A. & Gallegos-Tintoré, S. (2020). Antioxidant, chelating, and angiotensin-converting enzyme inhibitory activities of peptide fractions from red lionfish (*Pterois volitans* L.) muscle protein hydrolysates. *International Food Research*, 27, 224–233. <https://doi.org/10.9755/efra.2020.v32.i1.2060>
- Chi, C., Wang, B., Hu, F., Wang, Y., Zhang, B., & Deng, S. (2015). Purification and identification of three novel antioxidant peptides from protein hydrolysate of bluefin leatherjacket (*Navodon septentrionalis*) skin. *Food Research International*, 73, 124–129. <https://doi.org/10.1016/j.jff.2015.09.003>
- Derkach, S. R., Voron'ko, N. G., Kuchina, Y. A., & Kolotova, D. S. (2020). Modified fish gelatin as an alternative to mammalian gelatin in modern food technologies. *Polymers (Basel)*, 12(12), 3051. <https://doi.org/10.3390/polym12123051>
- Espe, M., Ruohonen, K., Bjornevik, M., Froyland, L., Nortvedt, R., & Kiessling, A. (2004). Interactions between ice storage time, collagen composition, gaping and textural properties in fanned salmon muscle harvested at different times of the year. *Aquaculture*, 240, 489–504. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2004.04.023>
- Espinoza, D., & Castillo, A. (2022). Avances tecnológicos en la obtención, identificación y producción de hidrolizados proteicos de residuos de pescado por acción enzimática: propiedades bioactivas y tecnofuncionales, aplicación en alimentos, mercado y regulación [Technological advances in the obtaining, identification and production of protein hydrolysates from fish waste by enzymatic action: bioactive and technofunctional properties, application in food, market and regulation]. *Scientia Agropecuaria*, 13(2), 135–148. <https://doi.org/10.17268/sci.agropecu.2022.012>
- Fernandes, P. (2016). Enzymes in fish and seafood processing. *Frontiers in Bioengineering and Biotechnology*, (4), 59. <https://doi.org/10.3389/fbioe.2016.00059>. <https://doi.org/10.3389/fbioe.2016.00059>
- Freeman, H. J., Sleisinger, M. H., & Kim, Y. S. (1983). Human protein digestion and absorption: normal

- mechanisms and protein energy malnutrition. *Journal of Clinical Gastroenterology*, 12, 357–378. [https://doi.org/10.1016/0002-9343\(79\)90645-4](https://doi.org/10.1016/0002-9343(79)90645-4)
- Freret, T., Largilliere, S., Nee, G., Coolzaet, M., Corvaisier, S., & Boulouard, M. (2021). Fast anxiolytic-like effect observed in the rat conditioned defensive burying test, after a single oral dose of natural protein extract products. *Nutrients*, 13, 2445. <https://doi.org/10.3390/nu13072445>
- Gao, R., Yu, Q., Shen, Y., Chu, Q., & Chen, G., Fen, S., Yang, M., Yuan, L., McClements, D. J., & Sun, Q. (2021). Production, bioactive properties, and potential applications of fish protein hydrolysates: Developments and challenges. *Trends in Food Science & Technology*, 110, 687–699. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2021.02.031>
- Gómez-Guillén, M. C., Pérez-García, S., Alemán, A., López-Caballero, M. E., Sotelo, C. G., & Montero, M. P. (2023). Development of a ready-to-eat fish product enriched with fish oil entrapped in a κ -carrageenan egg white fish protein hydrolysate dry powder. *Foods*, 12, 2272. <https://doi.org/10.3390/foods12112272>
- Ha, N. C., Hien, D. M., Thuy, N. T., Nguyen, L. T., & Devkota, L. (2017). Enzymatic hydrolysis of catfish (*Pangasius hypophthalmus*) by-product: kinetic analysis of key process parameters and characteristics of the hydrolysates obtained. *Journal of Aquatic Food Product Technology*, 26, 1070–1082. <https://doi.org/10.1080/10498850.2017.1376027>
- Hadidi, M., Garcia, S. R., Ziogkas, D., Maclements, D. J., & Moreno, A. (2023). Cereal bran proteins: recent advances in extraction, properties, and applications. *Critical reviews in food science and nutrition*, 1–25. <https://doi.org/10.1080/10408398.2023.2226730>
- Halim, N. R. A., Azlan, A., Yusof, H. M., & Sarbon, N. M. (2018). Antioxidant and anticancer activities of enzymatic eel (*monopterus* sp) protein hydrolysate as influenced by different molecular weight. *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology*, (6), 10–16. <https://doi.org/10.1016/j.bcab.2018.06.006>
- Harnedy-Rothwell, P. A., Khatib, N., Sharkey, S., Lafferty, R. A., Gite, S., Whooley, J., O'Harte, F. P. M., & FitzGerald, R. J. (2021). Physicochemical, nutritional and in vitro antidiabetic characterisation of blue whiting (*micromesistius poutassou*) protein Hydrolysates. *Marine. Drugs*, 19, 383. <https://doi.org/10.3390/https://doi.org/10.3390/ md19070383>
- Hartmann, R., & Meisel, H. (2007). Food-derived peptides with biological activity: from research to food applications. *Current Opinion in Biotechnology*, 18, 163–169. <https://doi.org/10.1016/j.copbio.2007.01.013>
- Hassan, M. A., Deepitha, R. P., Xavier, K. A. M., Gupta, S., Nayak, B. B., & Balange, A. K. (2018). eEvaluation of the properties of spray dried visceral protein hydrolysate from pangasianodon hypophthalmus (sauvage, 1978) extracted by enzymatic and chemical methods. *Waste and Biomass Valorization*, 9, 2547–2558. <https://doi.org/10.1007/s12649-018-0302-1>
- Heffernan, S., Giblin, L., & O'Brien, N. (2021). Assessment of the biological activity of fish muscle protein hydrolysates using in vitro model systems. *Food chemistry*, 359, 129852. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2021.129852>
- Hordur G. Kristinsson & Barbara A. Rasco (2000). Fish protein hydrolysates: production, biochemical, and functional properties. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 40(1), 43–81. <https://doi.org/10.1080/10408690091189266>
- Idowu, A. T., Benjakul, S., Sinthusamran, S., Sookchoo, P., & Kishimura, H. (2019). Protein hydrolysate from salmon frames: production, characteristics and antioxidative activity. *Journal of Food Biochemistry*, 43(2), e12734. <https://doi.org/10.1111/jfbc.12734>
- Jeon, Y.-J., Byun, H.-G., & Kim, S.-K. (1999). Improvement of functional properties of cod frame protein hydrolysates using ultrafiltration membranes. *Process Biochemistry*, 35(5), 471–478. <https://doi.org/10.1007/s11947-017-1876-5>
- Kim, S. K, & Wijesekara, I. (2010). Development and biological activities of marine-derived bioactive peptides: A Review. *Journal of Functional Foods*, 2(1), 1–9. <https://doi.org/10.1016/j.jff.2010.01.003>
- Kim, S.-R., & Byun, H.-G. (2012). The novel angiotensin i converting enzyme inhibitory peptide from rainbow trout muscle hydrolysate. *Fisheries and Aquatic Sciences*, 15, 183–190. <https://doi.org/10.1210/en.2004-0443>
- Kostyleva, E. V., Sereda, A. S., Velikoretskaya, I. A., Kurbatova, E. I., & Tsurikova, N. V. (2023). Proteases for obtaining of food protein hydrolysates from proteinaceous by-products. *Voprosy pitaniia [Problems of Nutrition]*, 92(1), 116–32. <https://doi.org/10.33029/0042-8833-2023-92-1-116-132>
- Kristinsson, H. G., & Rasco, B. A. (2000). Fish protein hydrolysates: production, biochemical and functional properties. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 40, 43–81. <https://doi.org/10.1080/10408690091189266>
- Le Faouder, J., Arnaud, B., Lavigne, R., Lucas, C., Com, E., Bouvret, E., Diné, A.-L., & Pineau, C. (2022). Fish hydrolysate supplementation prevents stress-induced dysregulation of hippocampal proteins relative to mitochondrial metabolism and the neuronal network in mice. *Foods*, 11, 1591. <https://doi.org/10.3390/foods11111591>
- Listrat, A., Lebret, B., Louveau, I., Astruc, T., Bonnet, M., Lefaucheur, L., Picard, B., & Bugeon, J. (2016). How muscle structure and composition influence meat and flesh quality. *The Scientific World Journal*, 1–14. <https://doi.org/10.1155/2016/3182746>
- Mathew, P.T (2014). Fishery waste management problems and prospects. In A.A. Zynuddeen, J. Bindu, G. Ninan, C.O. Mohan, R. Venkateswarlu (eds.) *Development of nutraceuticals, health foods & fish feed from fish &*

- shellfish processing discards*. Central Institute of Fisheries Technology.
- Messaoudi, M., Nejd, A., Bisson, J.-F., Rozan, P., Javelot, H., & Lalonde, R. (2008). Anxiolytic and antidepressant-like effects of garum armoricum®(ga), a blue ling fish protein autolysate in male wistar rats. *Current Topics in Nutraceutical Research*, 6, 115–123.
- Mo, W. Y., Man, Y. B., & Wong, M. H. (2018). Use of food waste, fish waste and food processing waste for China's aquaculture industry: Needs and challenge. *Science of the Total Environment*, 613, 635–643. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.08.321>
- Muhammad, U., Amna, S., Muhammad, I., Ubaid ur R., Aysha S., & Rana Muhammad, A. (2022) Gelatin extraction from fish waste and potential applications in food sector. *International Journal of Food Science and Technology*, 57, 154–163. <https://doi.org/10.1111/ijfs.15286>
- Nemati, M., Javadian S.R., Ovissipour M. & Keshavarz, M., (2012). A study on the properties of Alosa (*Alosa caspia*) by-products protein hydrolysates using commercial enzymes. *World Applied Sciences Journal*, 18(7), 950–956.
- Nesse, K. O., Nagalakshmi, A. P., Marimuthu, P., Singh, M., Bhetariya, P. J., Ho, M., & Simon, R. R. (2014). Safety evaluation of fish protein hydrolysate supplementation in malnourished children. *Regulatory Toxicology and Pharmacology: RTP*, 69(1), 1–6. <https://doi.org/10.1016/j.yrtph.2014.02.009>
- Phadke, G. G., Rathod, N. B., Ozogul, F., Elavarasan, K., Karthikeyan, M., Shin, K. H., & Kim, S. K. (2021). Exploiting of secondary raw materials from fish processing industry as a source of bioactive peptide-rich protein hydrolysates. *Marine. Drugs*, 19(9), 480. <https://doi.org/10.3390/md19090480>
- Raghavan, S., & Kristinsson, H. G. (2008). Antioxidative efficacy of alkali-treated tilapia protein hydrolysates: a comparative study of five enzymes. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 56, 1434–1441.
- Ruthu, Murthy, P. S., Rai, A. K., & Bhaskar, N. (2014). Fermentative recovery of lipids and proteins from freshwater fish head waste with reference to antimicrobial and antioxidant properties of protein hydrolysate. *Journal of Food Science and Technology*, 51(9), 1884–1892. <https://doi.org/10.1007/s13197-012-0730-z>
- Ryu, B., Shin, K.-H., & Kim, S.-K. (2021). Muscle Protein Hydrolysates and Amino Acid Composition in Fish. *Marine. Drugs*, 19, 377. <https://doi.org/10.3390/md19070377>
- Salampessy, J., Reddy, N., Phillips, M., & Kailasapathy, K. (2017). Isolation and characterization of nutraceutically potential ACE-Inhibitory peptides from leatherjacket (*Meuschenia* sp.) protein hydrolysates. *LWT*, 80, 430–436. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2017.03.004>
- Sen, D. P., Sripathy, N. V., Lahiry, N. L., Sreenivasan, A., & Subrahmanyam, V., (1962). Fish hydrolysates. I. Rate of hydrolysis of fish flesh with papain, *Food Technology*, (5), 80.
- Siddik, M. A. B., Howieson, J., Fotedar, R., & Partridge, G. J. (2020). Enzymatic fish protein hydrolysates in finfish aquaculture: a review. *Reviews in Aquaculture*, 13(1), 406–430. <https://doi.org/10.1111/raq.12481>
- Skanderby, M., (1994). Protein hydrolysates: their functionality and applications., *European Food Research and Technology*, (10), 141.
- Souissi, N., Bougatef, A., Triki — Ellouz, Y. & Nasri, M., (2007). Biochemical and functional properties of sardinella (*Sardinella aurita*) by-product hydrolysates. *Food Technology and Biotechnology*, 45, 187–194.
- Stevens, J. R., Newton, R. W., Tlusty, M., & Little, D. C. (2018). The rise of aquaculture by-products: Increasing food production, value, and sustainability through strategic utilization. *Marine. Policy*, 90, 115–124. <https://doi.org/10.1016/j.marpol.2017.12.027>
- Suleria, H. A. R., Gobe, G., Masci, P., & Osborne, S. (2016). Marine bioactive compounds and health promoting perspectives; innovation pathways for drug discovery. *Trends Food Science & Technology*, 50, 44–55. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2016.01.019>
- Tacon, A. G. J., & Metian, M. (2017). Food Matters: Fish, Income, and Food Supply—A Comparative Analysis. *Fisheries Science & Aquaculture*, 26, 15–28. <https://doi.org/10.1080/23308249.2017.1328659>
- Thawornchinsombut, S., & Park, J. W. (2007). Effect of NaCl on gelation characteristics of acid- and alkali-treated pacific whiting fish protein isolates. *Journal of Food Biochemistry*, 31, 427–455. <https://doi.org/10.1111/j.1745-4514.2007.00121.x>
- Usman, M., Sahar, A., Inam-Ur-Raheem, M., Rahman, U., Sameen, A., & Aadil, R. M. (2022). Gelatin extraction from fish waste and potential applications in food sector. *Food Science and Technology*, 57, 154–163. <https://doi.org/10.1111/ijfs.15286>
- Wangkheirakpam, R., Mahanand, S. S., Majumdar, R. K., Sharma, S., Hidangmayum, D. D. & Netam, S. (2019). Fish waste utilization with reference to fish protein hydrolysate — a review. *Fishery Technology*, 56, 169–178.
- Wijesekara, I., Qian, Z.-J., Ryu, B., Ngo, D.-H., & Kim, S.-K. (2011). Purification and identification of antihypertensive peptides from seaweed pipefish (*Syngnathus schlegelii*) muscle protein hydrolysate. *Food Research International*, 44, 703–707.
- Yan, N., & Chen, X. (2015). Sustainability: don't waste seafood waste. *Nature*, 524, 155–157. <https://doi.org/10.1038/524155a>
- Yarnpakdee, S., Benjakul, S., Kristinsson, H. G. (2012). Effect of pretreatments on chemical compositions of mince from Nile

- tilapia (*Oreochromis niloticus*) and fishy odor development in protein hydrolysate. *International Aquatic Research*, 4(1), 7. <https://doi.org/10.1186/2008-6970-4-7>
- Zamora-Sillero, J., Gharsallaoui, A., & Prentice, C. (2018). Peptides from fish by-product protein hydrolysates and its functional properties: An overview. *Marine Biotechnology*, 20(2), 118–130. <https://doi.org/10.1007/s10126-018-9799-3>
- ## REFERENCES
- Andriyanova, E. V. (2011). Logistics of work with aquatic waste as a resource-saving factor at fishing industry enterprises. *RISK*, (1), 111–118.
- Bredikhina, O. V., & Zarubin, N. Yu. (2019). Development of a comprehensive technology for processing organic waste from fish processing enterprises into collagen-containing hydrolysates for food use. *Trudy VNIRO. Tekhnologiya pererabotki vodnykh bioresursov*, 176, 109–121.
- Zarubin, N. Yu., Litvinova, E. V., Frolova, Yu. V., & Bredikhina O. V. (2016). New data on the use of collagen hydrolysates in the technology of semi-finished fish products. *Pishchevaya promyshlennost'*, (12), 21–24.
- Kleshchevsky, O. N., Nikolaeva, M. A., & Ryazanova, O. A. (2017). Current state and prospects for the development of the fish and fishery products market in Russia. *Vestnik Kemerovskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Politicheskie, sociologicheskie i ekonomicheskie nauki*, (3), 34–42.
- Rasulov, E. M. (2006). Development of technology for functional food products based on the use of protein fish hydrolysates [Candidate thesis, Kuban State Technological University]. Krasnodar, Russia.
- Sokolov, A. V. (2019). Current state and development trends of the Russian fishery complex. *Tekhnologii pishchevoj i pererabatyvayushchej promyshlennosti APK – produkty zdorovogo pitaniya*, (4), 36–48.
- Heling, A., Grimm, T., Volkov, V. V., & Mezenova, N. Yu. (2016). Research of various methods of hydrolytic process of secondary fish raw materials for canning production. *Vestnik Mezhdunarodnoj akademii holoda*, (1), 3–8. <https://doi.org/10.21047/1606-4313-2016-16-1-3-8>
- Yugay, A. V. (2009). Justification for the food use of gobies of the family Cottidae. *Izvestiya TINRO*, 156, 341–347.
- Yugay, A. V., & Kovaleva, E. A. (2014). Modern technologies in the complex processing of aquatic organisms. *Fundamental'nye issledovaniya*, (11–8), 1713–1716.
- Ahmed, M., Verma, A. K., & Patel, R. (2020). Collagen extraction and recent biological activities of collagen peptides derived from sea-food waste: a review. *Sustainable Chemistry and Pharmacy*, 18, 100315. <https://doi.org/10.1016/j.scp.2020.100315>
- Ahuja, I., Dauksas, E., Remme, J. F., Richardsen, R., & Løes, A. K. (2020). Fish and fish waste-based fertilizers in organic farming – With status in Norway: A review. *Waste management (New York, N.Y.)*, 115, 95–112. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2020.07.025>
- Akillioğlu, H.G., & Yalçın, E. (2010) Tahıl protein hidrolizatlarının antioksidan aktiviteleri [Antioxidant activities of cereal protein hydrolysates], *Gıda*, 35(3), 227–233.
- Alahmad, K., Xia, W., Jiang, Q., & Xu, Y. (2022). Effect of the degree of hydrolysis on nutritional, functional, and morphological characteristics of protein hydrolysate produced from bighead carp (*Hypophthalmichthys nobilis*) using ficin enzyme. *Foods*, 11, 1320. <https://doi.org/10.3390/foods11091320>
- Bazhenov, E. A., Baydalina L. S., & Grimm T. (2023). Technology of proteolytic enzymes production from the digestive organs of fish of coastal fisheries in the North-Western region. *Journal of International Academy of Refrigeration*, (1), 66–77. <https://doi.org/10.17586/1606-4313-2023-22-1-66-77>
- Belhaj, N., Desor, F., Gleizes, C., Denis, F.M., Arab-Tehrany, E., Soulimani, R., & Linder, M. (2013). Anxiolytic-like effect of a salmon phospholipopeptidic complex composed of polyunsaturated fatty acids and bioactive peptides. *Marine. Drugs*, (11), 4294–4317. <https://doi.org/10.3390/md11114294>
- Bernet, F., Montel, V., Noël, B., & Dupouy, J. P. (2000). Diazepam-like effects of a fish protein hydrolysate (Gabolysat PC60) on stress responsiveness of the rat pituitary-adrenal system and sympathoadrenal activity. *Psychopharmacology*, 149, 34–40. <https://doi.org/10.1007/s002139900338>
- Binsi, P. K., Viji P., Satyen K. P., Suseela M., Zynudheen, A. A., & Ravishankar, C. N. (2016). Characterization of hydrolysates prepared from engraved catfish (*Nemapteryx caelata*) roe by serial hydrolysis. *Journal of Food Science and Technology*, 53(1), 158–70. <https://doi.org/10.1007/s13197-015-1998-6>

- Bucci, L., & Unlu, L. (2000). Proteins and amino acids in exercise and sport. In J. Driskell & I. Wolinsky (eds.) *Energy-yielding macronutrients and energy metabolism in sport nutrition*. CRC-Press.
- Chel-Guerrero, L., Estrella-Millán, Y., Betancur-Ancona, D., Aranda-González, I., Castellanos-Ruelas, A. & Gallegos-Tintoré, S. (2020). Antioxidant, chelating, and angiotensin-converting enzyme inhibitory activities of peptide fractions from red lionfish (*Pterois volitans* L.) muscle protein hydrolysates. *International Food Research*, 27, 224–233. <https://doi.org/10.9755/ejfa.2020.v32.i1.2060>
- Chi, C., Wang, B., Hu, F., Wang, Y., Zhang, B., & Deng, S. (2015). Purification and identification of three novel antioxidant peptides from protein hydrolysate of bluefin leatherjacket (*Navodon septentrionalis*) skin. *Food Research International*, 73, 124–129. <https://doi.org/10.1016/j.jff.2015.09.003>
- Derkach, S. R., Voron'ko, N. G., Kuchina, Y. A., & Kolotova, D. S. (2020). Modified fish gelatin as an alternative to mammalian gelatin in modern food technologies. *Polymers (Basel)*, 12(12), 3051. <https://doi.org/10.3390/polym12123051>
- Espe, M., Ruohonen, K., Bjornevik, M., Froyland, L., Nortvedt, R., & Kiessling, A. (2004). Interactions between ice storage time, collagen composition, gaping and textural properties in fanned salmon muscle harvested at different times of the year. *Aquaculture*, 240, 489–504. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2004.04.023>
- Espinoza, D., & Castillo, A. (2022). Avances tecnológicos en la obtención, identificación y producción de hidrolizados proteicos de residuos de pescado por acción enzimática: propiedades bioactivas y tecnofuncionales, aplicación en alimentos, mercado y regulación [Technological advances in the obtaining, identification and production of protein hydrolysates from fish waste by enzymatic action: bioactive and technofunctional properties, application in food, market and regulation]. *Scientia Agropecuaria*, 13(2), 135–148. <https://doi.org/10.17268/sci.agropecu.2022.012>
- Fernandes, P. (2016). Enzymes in fish and seafood processing. *Frontiers in Bioengineering and Biotechnology*, (4), 59. <https://doi.org/10.3389/fbioe.2016.00059>. <https://doi.org/10.3389/fbioe.2016.00059>
- Freeman, H. J., Sleisinger, M. H., & Kim, Y. S. (1983). Human protein digestion and absorption: normal mechanisms and protein energy malnutrition. *Journal of Clinical Gastroenterology*, 12, 357–378. [https://doi.org/10.1016/0002-9343\(79\)90645-4](https://doi.org/10.1016/0002-9343(79)90645-4)
- Freret, T., Largilliere, S., Nee, G., Coolzaet, M., Corvaisier, S., & Boulouard, M. (2021). Fast anxiolytic-like effect observed in the rat conditioned defensive burying test, after a single oral dose of natural protein extract products. *Nutrients*, 13, 2445. <https://doi.org/10.3390/nu13072445>
- Gao, R., Yu, Q., Shen, Y., Chu, Q., & Chen, G., Fen, S., Yang, M., Yuan, L., McClements, D. J., & Sun, Q. (2021). Production, bioactive properties, and potential applications of fish protein hydrolysates: Developments and challenges. *Trends in Food Science & Technology*, 110, 687–699. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2021.02.031>
- Gómez-Guillén, M. C., Pérez-García, S., Alemán, A., López-Caballero, M. E., Sotelo, C. G., & Montero, M. P. (2023). Development of a ready-to-eat fish product enriched with fish oil entrapped in a κ -carrageenan egg white fish protein hydrolysate dry powder. *Foods*, 12, 2272. <https://doi.org/10.3390/foods12112272>
- Ha, N. C., Hien, D. M., Thuy, N. T., Nguyen, L. T., & Devkota, L. (2017). Enzymatic hydrolysis of catfish (*Pangasius hypophthalmus*) by-product: kinetic analysis of key process parameters and characteristics of the hydrolysates obtained. *Journal of Aquatic Food Product Technology*, 26, 1070–1082. <https://doi.org/10.1080/10498850.2017.1376027>
- Hadidi, M., Garcia, S. R., Ziogkas, D., Maclements, D. J., & Moreno, A. (2023). Cereal bran proteins: recent advances in extraction, properties, and applications. *Critical reviews in food science and nutrition*, 1–25. <https://doi.org/10.1080/10408398.2023.2226730>
- Halim, N. R. A., Azlan, A., Yusof, H. M., & Sarbon, N. M. (2018). Antioxidant and anticancer activities of enzymatic eel (*monopterus sp*) protein hydrolysate as influenced by different molecular weight. *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology*, (6), 10–16. <https://doi.org/10.1016/j.bcab.2018.06.006>
- Harnedy-Rothwell, P. A., Khatib, N., Sharkey, S., Lafferty, R. A., Gite, S., Whooley, J., O'Harte, F. P. M., & FitzGerald, R. J. (2021). Physicochemical, nutritional and in vitro antidiabetic characterisation of blue whiting (*micromesistius poutassou*) protein Hydrolysates. *Marine. Drugs*, 19, 383. <https://doi.org/10.3390/md19070383>
- Hartmann, R., & Meisel, H. (2007). Food-derived peptides with biological activity: from research to food applications. *Current Opinion in Biotechnology*, 18, 163–169. <https://doi.org/10.1016/j.copbio.2007.01.013>
- Hassan, M. A., Deepitha, R. P., Xavier, K. A. M., Gupta, S., Nayak, B. B., & Balange, A. K. (2018). eEvaluation of the properties of spray dried visceral protein hydrolysate from pangasianodon hypophthalmus (sauvage, 1978) extracted by enzymatic and chemical methods. *Waste and Biomass Valorization*, 9, 2547–2558. <https://doi.org/10.1007/s12649-018-0302-1>
- Heffernan, S., Giblin, L., & O'Brien, N. (2021). Assessment of the biological activity of fish muscle protein hydrolysates using in vitro model systems. *Food chemistry*, 359, 129852. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2021.129852>
- Hordur G. Kristinsson & Barbara A. Rasco (2000). Fish protein hydrolysates: production, biochemical, and functional properties. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 40(1), 43–81. <https://doi.org/10.1080/10408690091189266>

- Idowu, A. T., Benjakul, S., Sinthusamran, S., Sookchoo, P., & Kishimura, H. (2019). Protein hydrolysate from salmon frames: production, characteristics and antioxidative activity. *Journal of Food Biochemistry*, 43(2), e12734. <https://doi.org/10.1111/jfbc.12734>
- Jeon, Y.-J., Byun, H.-G., & Kim, S.-K. (1999). Improvement of functional properties of cod frame protein hydrolysates using ultrafiltration membranes. *Process Biochemistry*, 35(5), 471–478. <https://doi.org/10.1007/s11947-017-1876-5>
- Kim, S. K., & Wijesekara, I. (2010). Development and biological activities of marine-derived bioactive peptides: A Review. *Journal of Functional Foods*, 2(1), 1–9. <https://doi.org/10.1016/j.jff.2010.01.003>
- Kim, S.-R., & Byun, H.-G. (2012). The novel angiotensin I converting enzyme inhibitory peptide from rainbow trout muscle hydrolysate. *Fisheries and Aquatic Sciences*, 15, 183–190. <https://doi.org/10.1210/en.2004-0443>
- Kostyleva, E. V., Sereda, A. S., Velikoretskaya, I. A., Kurbatova, E. I., & Tsurikova, N. V. (2023). Proteases for obtaining of food protein hydrolysates from proteinaceous by-products. *Voprosy pitaniia [Problems of Nutrition]*, 92(1), 116–32. <https://doi.org/10.33029/0042-8833-2023-92-1-116-132>
- Kristinsson, H. G., & Rasco, B. A. (2000). Fish protein hydrolysates: production, biochemical and functional properties. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 40, 43–81. <https://doi.org/10.1080/10408690091189266>
- Le Faouder, J., Arnaud, B., Lavigne, R., Lucas, C., Com, E., Bouvret, E., Dinel, A.-L., & Pineau, C. (2022). Fish hydrolysate supplementation prevents stress-induced dysregulation of hippocampal proteins relative to mitochondrial metabolism and the neuronal network in mice. *Foods*, 11, 1591. <https://doi.org/10.3390/foods11111591>
- Listrat, A., Lebre, B., Louveau, I., Astruc, T., Bonnet, M., Lefaucheur, L., Picard, B., & Bugeon, J. (2016). How muscle structure and composition influence meat and flesh quality. *The Scientific World Journal*, 1–14. <https://doi.org/10.1155/2016/3182746>
- Mathew, P.T (2014). Fishery waste management problems and prospects. In A.A. Zynuddeen, J. Bindu, G. Ninan, C.O. Mohan, R. Venkateswarlu (eds.) *Development of nutraceuticals, health foods & fish feed from fish & shellfish processing discards*. Central Institute of Fisheries Technology.
- Messaoudi, M., Nejd, A., Bisson, J.-F., Rozan, P., Javelot, H., & Lalonde, R. (2008). Anxiolytic and antidepressant-like effects of garum armoricum®(ga), a blue ling fish protein autolysate in male wistar rats. *Current Topics in Nutraceutical Research*, 6, 115–123.
- Mo, W. Y., Man, Y. B., & Wong, M. H. (2018). Use of food waste, fish waste and food processing waste for China's aquaculture industry: Needs and challenge. *Science of the Total Environment*, 613, 635–643. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.08.321>
- Muhammad, U., Amna, S., Muhammad, I., Ubaid ur R., Aysha S., & Rana Muhammad, A. (2022) Gelatin extraction from fish waste and potential applications in food sector. *International Journal of Food Science and Technology*, 57, 154–163. <https://doi.org/10.1111/ijfs.15286>
- Nemati, M., Javadian S.R., Ovissipour M. & Keshavarz, M., (2012). A study on the properties of Alosa (Alosa caspia) by-products protein hydrolysates using commercial enzymes. *World Applied Sciences Journal*, 18(7), 950–956.
- Nesse, K. O., Nagalakshmi, A. P., Marimuthu, P., Singh, M., Bhetariya, P. J., Ho, M., & Simon, R. R. (2014). Safety evaluation of fish protein hydrolysate supplementation in malnourished children. *Regulatory Toxicology and Pharmacology: RTP*, 69(1), 1–6. <https://doi.org/10.1016/j.yrtph.2014.02.009>
- Phadke, G. G., Rathod, N. B., Ozogul, F., Elavarasan, K., Karthikeyan, M., Shin, K. H., & Kim, S. K. (2021). Exploiting of secondary raw materials from fish processing industry as a source of bioactive peptide-rich protein hydrolysates. *Marine. Drugs*, 19(9), 480. <https://doi.org/10.3390/md19090480>
- Raghavan, S., & Kristinsson, H. G. (2008). Antioxidative efficacy of alkali-treated tilapia protein hydrolysates: a comparative study of five enzymes. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 56, 1434–1441.
- Ruthu, Murthy, P. S., Rai, A. K., & Bhaskar, N. (2014). Fermentative recovery of lipids and proteins from freshwater fish head waste with reference to antimicrobial and antioxidant properties of protein hydrolysate. *Journal of Food Science and Technology*, 51(9), 1884–1892. <https://doi.org/10.1007/s13197-012-0730-z>
- Ryu, B., Shin, K.-H., & Kim, S.-K. (2021). Muscle Protein Hydrolysates and Amino Acid Composition in Fish. *Marine. Drugs*, 19, 377. <https://doi.org/10.3390/md19070377>
- Salampessy, J., Reddy, N., Phillips, M., & Kailasapathy, K. (2017). Isolation and characterization of nutraceutically potential ACE-Inhibitory peptides from leatherjacket (Meuschenia sp.) protein hydrolysates. *LWT*, 80, 430–436. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2017.03.004>
- Sen, D. P., Sripathy, N. V., Lahiry, N. L., Sreenivasan, A., & Subrahmanyam, V., (1962). Fish hydrolysates. I. Rate of hydrolysis of fish flesh with papain, *Food Technology*, (5), 80.
- Siddik, M. A. B., Howieson, J., Fotadar, R., & Partridge, G. J. (2020). Enzymatic fish protein hydrolysates in finfish aquaculture: a review. *Reviews in Aquaculture*, 13(1), 406–430. <https://doi.org/10.1111/raq.12481>
- Skanderby, M., (1994). Protein hydrolysates: their functionality and applications., *European Food Research and Technology*, (10), 141.

- Souissi, N., Bougatef, A., Triki — Ellouz, Y. & Nasri, M., (2007). Biochemical and functional properties of sardinella (*Sardinella aurita*) by-product hydrolysates. *Food Technology and Biotechnology*, 45, 187–194.
- Stevens, J. R., Newton, R. W., Tlustý, M., & Little, D. C. (2018). The rise of aquaculture by-products: Increasing food production, value, and sustainability through strategic utilization. *Marine. Policy*, 90, 115–124. <https://doi.org/10.1016/j.marpol.2017.12.027>
- Suleria, H. A. R., Gobe, G., Masci, P., & Osborne, S. (2016). Marine bioactive compounds and health promoting perspectives; innovation pathways for drug discovery. *Trends Food Science & Technology*, 50, 44–55. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2016.01.019>
- Tacon, A. G. J., & Metian, M. (2017). Food Matters: Fish, Income, and Food Supply-A Comparative Analysis. *Fisheries Science & Aquaculture*, 26, 15–28. <https://doi.org/10.1080/23308249.2017.1328659>
- Thawornchinsombut, S., & Park, J. W. (2007). Effect of NaCl on gelation characteristics of acid- and alkali-treated pacific whiting fish protein isolates. *Journal of Food Biochemistry*, 31, 427–455. <https://doi.org/10.1111/j.1745-4514.2007.00121.x>
- Usman, M., Sahar, A., Inam-Ur-Raheem, M., Rahman, U., Sameen, A., & Aadil, R. M. (2022). Gelatin extraction from fish waste and potential applications in food sector. *Food Science and Technology*, 57, 154–163. <https://doi.org/10.1111/ijfs.15286>
- Wangkheirakpam, R., Mahanand, S. S., Majumdar, R. K., Sharma, S., Hidangmayum, D. D. & Netam, S. (2019). Fish waste utilization with reference to fish protein hydrolysate — a review. *Fishery Technology*, 56, 169–178.
- Wijesekara, I., Qian, Z.-J., Ryu, B., Ngo, D.-H., & Kim, S.-K. (2011). Purification and identification of antihypertensive peptides from seaweed pipefish (*Syngnathus schlegelii*) muscle protein hydrolysate. *Food Research International*, 44, 703–707.
- Yan, N., & Chen, X. (2015). Sustainability: don't waste seafood waste. *Nature*, 524, 155–157. <https://doi.org/10.1038/524155a>
- Yarnpakdee, S., Benjakul, S., Kristinsson, H. G. (2012). Effect of pretreatments on chemical compositions of mince from Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) and fishy odor development in protein hydrolysate. *International Aquatic Research*, 4(1), 7. <https://doi.org/10.1186/2008-6970-4-7>
- Zamora-Sillero, J., Gharsallaoui, A., & Prentice, C. (2018). Peptides from fish by-product protein hydrolysates and its functional properties: An overview. *Marine Biotechnology*, 20(2), 118–130. <https://doi.org/10.1007/s10126-018-9799-3>
- Zeng, X., Xia, W., Jiang, Q., & Yang, F. (2013). Chemical and microbial properties of Chinese traditional low-salt fermented whole fish product Suan yu. *Food Control*, 30, 590–595. <https://doi.org/10.1007/s13197-015-1944-7>
- Zhang, H., Li, Y., Xu, K., Wu, J., & Dai, Z. (2015). Microbiological changes and biodiversity of cultivable indigenous bacteria in sanbao larger yellow croaker (*Pseudosciaena crocea*), a Chinese salted and fermented seafood. *Food Science & Technology*, 80, 776. <https://doi.org/10.1016/j.fbio.2020.100725>