

ISSN 2712-7648

HEALTH, FOOD & BIOTECHNOLOGY

VOLUME 6 • ISSUE 1 • MAY 2024



HFB
HEALTH, FOOD & BIOTECHNOLOGY



№ 1 – 2024

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), 2024.

№ 1 – 2024

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) , 2024.

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	Международная промышленная академия, 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

International Industrial Academy, 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
Подготовка специалистов в области микробиологии — ответ РОСБИОТЕХ
на запрос пищевой отрасли 6

ЗДОРОВЬЕ

А. С. Уткина, П. Г. Молодкина, В. П. Карагодин
Реализация лечебно-профилактического потенциала оздоровительной пищевой продукции —
фокус на эффективность (обзор методологии исследования) 13

ПИТАНИЕ

Н. А. Ставцева, Ю. М. Бухтеева
Влияние состава газов в модифицированной газовой среде на хранимоспособность фаршей из свинины..... 23

О. В. Сычева, Е. А. Скорбина, И. А. Трубина
Линейка кисломолочных продуктов «Бета-ОН» функциональной направленности..... 31

БИОТЕХНОЛОГИИ

Л. Ч. Бурак, А. Н. Сапач
Улучшение технологических свойств продовольственного зерна за счет
использования современных технологий: Обзор предметного поля..... 40

CONTENTS

EDITORIAL

Tatyana N. Danilchuk
Training of Specialists for Microbiology – the BIOTECH University Response
to the Request of the Food Industry 7

HEALTH

Aleksandra S. Utkina, Polina G. Molodkina, Vasily P. Karagodin
Realization of the Therapeutic and Preventive Potential of Health–Improving Food Products –
Focus on Effectiveness (Review of Research Methodology)..... 14

FOOD

Natalia A. Stavtseva, Yulia M. Bukhteeva
The Influence of the Composition of Gases in a Modified Atmosphere Packaging on the Storage
Capacity of Minced Pork..... 24

Olga V. Sycheva, Elena A. Skorbina, Irina A. Trubina
The Line of Functionally Oriented Fermented Dairy Products "Beta-ON" 32

BIOTECHNOLOGY

Leonid Ch. Burak, Aleksandr N. Sapach
Improving Technological Properties of Food Grain Through the Use of Modern Technologies: Scoping Review 41

<https://doi.org/10.36107/hfb.2024.i1.s218>

УДК 579.6

Подготовка специалистов в области микробиологии – ответ РОСБИОТЕХ на запрос пищевой отрасли

Т. Н. Данильчук

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

Корреспонденция:

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

Конфликт интересов:

авторы сообщают об отсутствии
конфликта интересов.

Поступила: 29.05.2024

Поступила после

рецензирования: 29.05.2024

Принята: 30.05.2024

Copyright: © 2024 Автор

АННОТАЦИЯ

В статье приводятся данные о развитии микробиологии как науки и о значении подготовки микробиологов для развития пищевой индустрии, сельского хозяйства, медицины, фармакологии. Приведены требования, предъявляемые к таким специалистам. Приведены сведения о том, какую программу предлагает ФГБОУ ВО РОСБИОТЕХ для удовлетворения запросов пищевой отрасли в вопросах подготовки высококвалифицированных специалистов-микробиологов, способных не только обеспечить выпуск полностью безопасных продуктов питания высокого качества, но и эффективно решать задачи по исследованиям и разработкам для создания новых продуктов питания, отечественных заквасочных культур для производства полного спектра пищевых продуктов на современных производствах.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА

микробиология; пищевые производства; сельское хозяйство; медицина; фармакология; подготовка специалистов-микробиологов; заквасочные культуры



Для цитирования: Данильчук, Т. Н. (2024). Подготовка специалистов в области микробиологии – ответ РОСБИОТЕХ на запрос пищевой отрасли. *Health, Food & Biotechnology*, 6(1), 6–12. <https://doi.org/10.36107/hfb.2024.i1.s218>

<https://doi.org/10.36107/hfb.2024.il.s218>

Training of Specialists for Microbiology – the BIOTECH University Response to the Request of the Food Industry

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: 29.05.2024

Received in revised form: 29.05.2024

Accepted: 30.05.2024

Copyright: © 2024 The Author

ABSTRACT

The article provides data on the development of microbiology as a science and on the importance of training microbiologists for the development of the food industry, agriculture, medicine, and pharmacology. The requirements for such specialists are given. Information is provided on what program the BIOTECH University offers to meet the demands of the food industry in the training of highly qualified microbiologists who can not only ensure the production of completely safe high-quality food products, but also effectively solve research and development tasks for the creation of new food products, domestic starter cultures for the production of a full range of food products in modern production facilities.

KEYWORDS

microbiology; food production; agricultural industry; medicine; pharmacology; training of microbiologists; starter cultures



To cite: Danilchuk, T. N. (2024). Training of Specialists for Microbiology – the BIOTECH University Response to the Request of the Food Industry. *Health, Food & Biotechnology*, 6 (1), 6–12. <https://doi.org/10.36107/hfb.2024.il.s218>

ВВЕДЕНИЕ

Как известно, микробиология является одним из разделов биологии, изучающий наиболее мелких представителей живого мира. Развитие микробиологии как науки и как профессии началось с изобретения А. Левенгуком оптического микроскопа, что позволило исследовать организмы, не видимые человеческим глазом. Этот этап развития микробиологии принято называть морфологическим или описательным. Второй этап – физиологический начался с работ Л. Пастера, затем основы микробиологии развили в своих работах Р. Кох, Д.И. Ивановский, И.И. Мечников и другие ученые. На третьем этапе происходило интенсивное развитие микробиологии, в частности в исследованиях А. Флеминга и С.А. Королева. На современном, четвертом этапе развития наблюдается научно-техническая революция в области микробиологии. Изобретены электронный микроскоп, зондовые микроскопы, развиваются биофизика, биохимия, геновая инженерия. Специалисты, обладающие компетенциями в области прикладной биотехнологии, востребованы сейчас как в науке, так и в технологиях.

Отрасли микробиологии и направления развития.

Классификация микробиологических наук

В настоящее время в микробиологии развиваются два основных направления: общая микробиология и отраслевая (частная) микробиология. Общая микробиология изучает морфологию, физиологию, биохимию, генетику, эволюцию и экологию микроорганизмов. Отраслевая микробиология подразделяется на медицинскую, ветеринарную, сельскохозяйственную, техническую (биотехнология), морскую и космическую. Медицинская микробиология изучает методы профилактики, диагностики и лечения людей, а ветеринарная микробиология – методы профилактики, диагностики и лечения животных (бактериология, вирусология, микология, протозоология, санитарная микробиология). Сельскохозяйственная микробиология изучает способы повышения плодородия почвы и предотвращения ее коррозии. Морская микробиология изучает микроорганизмы, обитающие в морях и океанах (бактерии, грибки, микроскопические формы водорослей, простейшие). Космическая микробиология изучает вопросы жизни земных микроорганизмов в космическом пространстве, влияние космических условий на микрофлору организма человека, а также вопросы экологии, связанные с разработкой методов предупреждения принесения микробов с поверхности Земли в космос. Техническая (промышленная) микробиология изучает микроорганизмы, используемые в производственных процессах с целью получения различных практически важных веществ (пищевые про-

дукты, ферменты, витамины, антибиотики, вакцины, химические вещества – аминокислоты и органические растворители).

Пищевая микробиология представляет собой часть технической микробиологии, задачей которой является изучение микроорганизмов, которые населяют, загрязняют или создают пищевые продукты (Свириденко, 2019; Nugroho, 2021; Surber, 2021; Karim, 2020; Беленкова, 2020; Алиева, 2019; МакСуини, 2019; Шингарева, 2018):

- (1) изучение микроорганизмов, вызывающих порчу продуктов питания;
- (2) изучение патогенов, которые могут вызывать заболевания;
- (3) изучение жизнедеятельности микроорганизмов, используемых для производства ферментированных продуктов (вино, пиво, хлеб, спирт, кисломолочные продукты, мясные продукты, сыры, квашеные овощи), для интенсификации технологических операций и улучшения качества готовых продуктов;
- (4) изучение микроорганизмов, выполняющих другие полезные функции (например, получение пробиотиков);
- (5) изучение жизнедеятельности посторонних микроорганизмов в целях подавления их развития в производственных процессах и получения доброкачественной продукции.

Целью данной работы являлся анализ проблемы подготовки специалистов-микробиологов для нужд предприятий пищевой отрасли.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Материалы

Объектами исследования являлись вопросы возникновения и развития микробиологии, основные направления развития микробиологии в области использования микроорганизмов и продуктов их жизнедеятельности для получения продуктов питания, вопросы микробиологического контроля готовой продукции; проект программы развития ФГБОУ ВО «Российский биотехнологический университет (РОСБИОТЕХ)» в рамках участия в программе стратегического академического лидерства «Приоритет-2030». 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 образовательного процесса в области микробиологии в соответствии со стратегическими проектами развития ФГБОУ ВО «Российский биотехнологический университет (РОСБИОТЕХ)».

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

В настоящее время предприятия пищевой отрасли испытывают «кадровый голод» в отношении высококвалифицированных специалистов, среди которых профессия технолога пищевых производств оказалась наиболее востребованной. Это связано с тем, что 90-е годы на рынке труда образовался дефицит технологов и теперь спрос на них ежегодно увеличивается. Крупные компании предлагают выпускникам вузов, имеющим компетенции в области производства продуктов питания, зарплаты по уровню не уступающие зарплатам экономистов, динамичный профессиональный и карьерный рост. Для обеспечения пищевой безопасности выпускаемой продукции предприятиям необходимо создавать санитарно-гигиенические условия, иметь в своем штате специалистов-микробиологов и создавать бактериологические лаборатории в соответствии с действующими ГОСТами или нормативно-технической документацией.

В должностные обязанности микробиолога пищевой промышленности входит: осуществление микробиологического контроля производственного оборудования, сырья, материалов, тары, готовой продукции; проведение микробиологических исследований в соответствии со схемами контроля и спецификации; контроль соблюдения санитарно-гигиенических стандартов и микробиологического режима на производстве; контроль приготовления, использования и хранения реактивов, растворов, сред; контроль соблюдения сроков годности, способов транспортировки, хранения, утилизации лабораторных материалов; контроль исправности микробиологического оборудования и приборов; заготовка и обеспечение производства чистыми микробиологическими культурами; выявление причин появления неудовлетворительных микробиологических показателей и разработка рекомендаций по их устранению; разработка рекомендаций по ведению технологических процессов и обеспечению микробиологической безопасности; взаимодействие с сотрудниками проверяющих инстанций, органами госконтроля; ведение лабораторных журналов, отчетной документации, внесение данных в систему SAP; консультации производственного персонала;

участие в разработке и внедрении системы качества на производстве.

На должность инженера-микробиолога предприятия могут взять выпускников вузов без опыта работы, имеющих образование в области пищевых технологий, биологии, химии, медицины с хорошей подготовкой по методам микробиологических исследований, знанием технологического и лабораторного оборудования, приборов и правил их эксплуатации, нормативной базы, технической документации по качеству, безопасности пищевой продукции, производственной санитарии и гигиены, имеющих компетенции по технологическим процессам пищевых производств. Для претендентов со стажем работы не менее 1 года, имеющих опыт проведения лабораторных испытаний по микробиологическим показателям (входной контроль, пооперационный контроль, контроль готовой продукции) и навыки составления отчетной документации предлагаются более высокие зарплаты, в среднем в 1,5 раза выше, чем претендентам без опыта работы. Если стаж работы инженером-микробиологом составляет более 3 лет и имеется опыт работы на пищевом производстве по профилю компании-работодателя, то зарплата возрастает еще в 1,5–2 раза, но при этом работодатели требуют опыта участия в сертификации готовой продукции, навыки разработки производственной документации, опыт взаимодействия с проверяющими инстанциями и органами госконтроля. Инженерам-микробиологам I квалификационной категории с опытом работы от 5 лет на крупных пищевых производствах работодатели предлагают максимальную для такой категории работников зарплату. Дополнительным преимуществом при трудоустройстве послужит знание «технического» английского, знание систем менеджмента качества и опыт участия в производственных аудитах, сертификаты о прохождении курсов повышения квалификации.

В настоящее время в пищевой отрасли в связи с западными санкциями возникла проблема с отечественными заквасочными культурами, которые необходимы в производстве кисломолочных продуктов, сыров, ферментированных мясных продуктов, хлеба, пива, вина (Жаркова, 2023; Nugroho, 2020; Хлесткин, 2020; Slyvka., 2019; Андреев, 2018; Горошенко, 2018; Найдюк, 2017). Сейчас в Россию ввозится более 700 т заквасок зарубежного производства, из них 250 т — закваски прямого внесения. Крупнейший поставщик заквасок в мире — датская компания Chr. Hansen. В 2024 году Chr. Hansen намеревается разорвать партнерские отношения с Россией. Это может создать проблемы для молочной отрасли, где вопрос с заквасками стоит особенно остро (Бородин, 2020; Шухалова, 2021; Жукова, 2019). В феврале 2024 г. на телеканале РБК Сергей Бачин, основатель компании «Агри-Волга», озвучил, что в настоящее время 90 % российского рынка заквасок представляет продукция зарубежных

производителей. Причина – отсутствие в РФ биофабрик для их производства. Действуют ФГБНУ «Экспериментальная биофабрика» в г. Углич и небольшие лаборатории на некоторых предприятиях, которые покрывают не больше 10 %, а реально даже меньше от всего объема заквасок, которые требуются. В РФ закваски от производителя предлагают следующие предприятия:

ГК «СОЮЗСНАБ», Московская обл., г. Красногорск, на рынке России с 1986 г. (заквасочные, защитные и пробиотические культуры, стабилизаторы для мясной и молочной отраслей, пищевые ингредиенты).

АО «Вектор-БиАльгам», Новосибирская область, наукоград Кольцово (производство фармацевтических иммунобиологических препаратов и пробиотической продукции).

Компания «Био-Веста», г. Новосибирск (продукты на основе пробиотических микроорганизмов).

ООО «Бифилайф», г. Москва (закваски для производства продуктов «Бифилайф» и «Бифиленд»).

ОАО «Консервсушпрод», Брянская область, г. Стародуб (консервы, молочные продукты).

ООО «Болоховский хлебозавод», Тульская область, г. Болохово, (хлебобулочные изделия).

ООО САФ-Нева, Московская область, г. Химки (дрожжи, закваски, кормовые добавки).

Компания «Добрые традиции», Республика Татарстан, г. Набережные Челны (кондитерские изделия, чай, сухофрукты).

ООО «Барнаульская биофабрика», Алтайский край, г. Барнаул (бакконцентраты для сыров, кисломолочных напитков).

Куяганский маслосырзавод, Алтайский край, село Куяган (молочная продукция).

ООО НОРД Ингредиентс, г. Санкт-Петербург (растительные белки, пищевые добавки).

Компания «КОЛВИ», г. Москва (пищевые ингредиенты и добавки).

Компания «Молвест», г. Воронеж (переработка молока).

Компания «Биопродукт», г. Москва, Московская область (кисломолочные продукты с пробиотиками).

Компания «Завод эндокринных ферментов», Московская область, поселок Ржавки; филиал компании, в поселке Зеленогорский, Тверской области (кормовые добавки, косметическое сырье).

По данным отраслевого издания Milknews 45 % рынка заквасок в РФ обеспечивает Chr. Hansen, еще 35 % – Danisco, около 5–10 % обеспечивает ФГУП «Экспериментальная биофабрика» и дополнительные 5 % составляет доля ГК «Союзснаб».

Вице-премьер России Виктория Абрамченко в интервью телеканалу «Россия-24» сообщила, что приняты нормативные акты о льготном кредитовании ряда инвестиционных проектов, благодаря чему при выходе их на проектную мощность к 2024 году локализация про-

изводства отечественных заквасок в России достигнет 50 %. Один из проектов – «Угличская биофабрика», строительство которой ведется на территории Угличского сыродельно-молочного завода. По этому проекту производство заквасок будет запущено к 2025 году и обеспечит 25 % потребностей российского рынка в заквасках. Предполагаемая мощность – 160 т бактериальных концентратов в год.

Строительство и введение в действие необходимых мощностей высокотехнологичных производств для получения заквасочных культур требует усиления научной базы в области технической (промышленной) микробиологии и подготовки специалистов с высоким уровнем фундаментальных и специальных знаний, способных успешно осуществлять свою деятельность в наукоемких пищевых производствах, в том числе в области микробиологии.

Для работы в научной сфере микробиолог должен владеть методами отбора проб материалов для исследовательских целей; уметь производить посев микроорганизмов на подходящую среду для роста и развития; владеть методами исследования жизнедеятельности микроорганизмов и выявления факторов, стимулирующих или угнетающих их развитие; уметь идентифицировать свойства микроорганизмов и разрабатывать вещества и препараты, способные стимулировать рост микроорганизмов или подавлять его; владеть методами совершенствования имеющихся методик и разработки новых методов изучения исходного материала; уметь проводить испытания материалов для получения необходимого результата, правильно утилизировать сырье и материалы, своевременно пополнять расходные материалы, поддерживать оборудование в исправном состоянии и соблюдать технику безопасности; уметь формировать выводы исследований или разработок, писать научные тексты и отчеты, оформлять официальную документацию.

Микробиологи востребованы не только на предприятиях пищевой отрасли, но и в научно-исследовательских институтах, в частных биотехнологических компаниях, в консалтинговых компаниях. В этой связи в ФГБОУ ВО РОСБИОТЕХ создаются образовательные программы подготовки квалифицированных специалистов для работы на экспериментальных площадках, включая инженеров, технологов и специалистов по контролю качества, в том числе с использованием программ дополнительного образования по биотехнологии. В научно-исследовательскую деятельность привлекаются студенты, аспиранты и молодые ученые. Процесс обучения направлен также на формирование личностных качеств, необходимых для успешной реализации полученных знаний в области микробиологии: ответственность, аккуратность, исполнительность, скрупулезность,

трудолюбие, усидчивость, любознательность, стремление к развитию.

В РОСБИОТЕХе разработана программа развития до 2033 г., в которой миссией Университета заявлено формирование научно-образовательной, кадровой, исследовательской и проектно-аналитической базы для развития прикладных биотехнологий в России и имплементации их в реальный сектор экономики. Стратегические проекты программы соответствуют основополагающим принципам государственной политики в области научно-технологического развития РФ и способствуют достижению целей национальных проектов «Наука и университеты», «Производительность труда», «Международная кооперация и экспорт». В Университете планируется создать банк микроорганизмов, способных синтезировать полезные биологически активные компоненты для различных отраслей промышленности.

В 2023 г. в РОСБИОТЕХе в рамках реализации программы стратегического академического лидерства «Приоритет – 2030» была организована и оборудована лаборатория коллекционных штаммов микроорганизмов с целью разработки новых отечественных стартовых культур и участия в научно-исследовательских и прикладных работах по разработке и реализации проектов в области здоровья, новых пищевых продуктов, экологии, повышения качества жизни. Основные задачи лаборатории: выявление и описание новых штаммов клеточных культур; поддержание и пополнение коллек-

ций 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.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

РОСБИОТЕХ обладает собственной научно-исследовательской базой, сформированными научными школами в области биотехнологий, 100-летним опытом разработки продуктов питания для человека, что позволяет Университету создавать образовательные программы для подготовки специалистов, в которых остро нуждается пищевая отрасль, в частности микробиологов; развивать студенческую науку, участвовать в международных программах и проектах. Образовательная деятельность РОСБИОТЕХа в области биотехнологий будет способствовать устойчивому и инновационному развитию России, обеспечению ее продовольственной безопасности, улучшению качества жизни граждан.

ЛИТЕРАТУРА

- Алиева, Е. В. (2019). К вопросу о побочных эффектах и токсических осложнениях при употреблении культуральной жидкости чайного гриба, выращенного в домашних условиях (обзор литературы). *Вестник новых медицинских технологий*, 13(1), 134–138.
- Alieva, E. V. (2019). On the issue of side effects and toxic complications when consuming the cultural liquid of kombucha grown at home (literature review). *Bulletin of New Medical Technologies*, 13(1), 134–138. (In Russ.)
- Андреев, А. Н. (2018). *Производство булочных изделий*. Агропромиздат.
- Andreev, A. N. (2018). Production of bakery products. Agropromizdat. (In Russ.)
- Беленкова, Т. Н., & Лопалева Н. Л. (2020). Применение дополнительных ингредиентов в хлебопечении для повышения его качества. *Современная аграрная наука: проблемы и пути решения*, 200–202.
- Belenkova, T. N., & Lopaeva N. L. (2020). The use of additional ingredients in baking to improve its quality. *Modern Agricultural Science: Problems and Solutions*, 200–202. (In Russ.)
- Бородин, К. Г., Гончаров, В. Д., & Фролова, Е. Ю. (2020). *Прогноз развития рынка молока и молочной продукции в России: методы, оценки, анализ*. ВИАПИ имени А.А. Никонова.
- Borodin, K. G., Goncharov, V. D., & Frolova, E. Yu. (2020). *Forecast for the development of the milk and dairy products market in Russia: methods, assessments, analysis*. VIAP named after A.A. Nikonova. (In Russ.)
- Горошенко, Л. (2018). *Хлеб и хлебобулочные изделия*. Продовольственный бизнес.
- Goroshenko, L. (2018). *Bread and bakery products*. Food business. (In Russ.)
- Жаркова, И. М., Росляков, Ю. Ф., & Иванчиков, Д. С. (2023). Закваски спонтанного (естественного) брожения: особенности технологии и роль в современном хлебопекарном производстве. *Техника и технология пищевых производств*, 53(3), 525–544. <http://doi.org/10.21603/2074-9414-2023-3-2455>
- Zharkova, I. M., Roslyakov, Yu. F., & Ivanchikov, D. S. (2023). Sourdoughs of spontaneous (natural) fermentation: features of technology and role in modern baking production. *Equipment*

- and Technology of Food Production, 53(3), 525–544. <http://doi.org/10.21603/2074-9414-2023-3-2455> (In Russ.)
- Жукова, Н. В., Сурай, Н. М., & Майоров, А. А. (2019). Отечественный и мировой опыт в развитии рынка сыров и сырных продуктов. *Экономические науки*, 180, 39–45.
- Zhukova, N. V., Suray, N. M., & Mayorov, A. A. (2019). Domestic and global experience in the development of the market for cheeses and cheese products. *Economic Sciences*, 180, 39–45. (In Russ.)
- Коноваленко, Л. Ю., Буклагин, Д. С., Кузьмина, Т. Н., & Байрамов, В. М. (2017). Сборник методических материалов по биотехнологической продукции. *Росинформагротех*, (3), 172.
- Konovalenko, L. Yu., Buklagin, D. S., Kuzmina, T. N., & Bayramov, V. M. (2017). Collection of teaching materials on biotechnological products. *Rosinformagrotekh*, (3), 172. (In Russ.)
- МакСуини, П. Л., Фокса, П. Ф., Коттера, П. Д., & Эверетта, Д. У. (2019). *Сыр. Научные основы и технологии*. ИД Профессия.
- McSweeney, P. L., Fox, P. F., Cotter, P. D., & Everett, D. W. (2019). *Cheese. Scientific foundations and technologies*. ID Profession. (In Russ.)
- Найдюк, О. М. (2021). Подбор термофильных микроорганизмов в состав поливидовых заквасок для производства ферментированных молочных продуктов. *Актуальные вопросы переработки мясного и молочного сырья*, (12), 55–61.
- Naydyuk, O. M. (2021). Selection of thermophilic microorganisms in the composition of polyspecies starter cultures for the production of fermented dairy products. *Current Issues in the Processing of Meat and Dairy Raw Materials*, (12), 55–61. (In Russ.)
- Свириденко, Г. М., & Шухалова, О. М. (2019). Молочные лактококки как основной кислотообразующий компонент. *Молочная промышленность*, (4), 30–33.
- Sviridenko, G. M., & Shukhalova, O. M. (2019). Lactic lactococci as the main acid-forming component. *Dairy Industry*, (4), 30–33. (In Russ.)
- Хлесткин, В. К. (2020). Традиции ведения хлебных заквасок на Русском Севере. *Письма в Вавиловский журнал генетики и селекции*, 6(2), 65–71.
- Khlestkin, V. K. (2020). Traditions of making bread starters in the Russian North. *Letters to the Vavilov Journal of Genetics and Breeding*, 6(2), 65–71. (In Russ.)
- Шингарева, Т. И., Шуляк, Т. Л., & Куприец, А. А. (2018). Технология производства кисломолочного продукта, производимого из молока на закваске рисового гриба. *Вестник МГУП*, 1(24), 3–11.
- Shingareva, T. I., Shulyak, T. L., & Kupriets, A. A. (2018). Technology for the production of fermented milk product made from milk with rice mushroom starter. *Vestnik MGUP*, 1(24), 3–11. (In Russ.)
- Шухалова, О. М. (2021). Основные критерии подбора заквасочных микроорганизмов в состав бактериальных заквасок для созревающих сыров. *Пищевые системы*, 4(3), 315–320. <http://doi.org/10.21323/2618-9771-2021-4-3S-315-320>
- Shukhalova, O. M. (2021). The main criteria for the selection of starter microorganisms in the composition of bacterial starters for ripening cheeses. *Food Systems*, 4(3), 315–320. <http://doi.org/10.21323/2618-9771-2021-4-3S-315-320> (In Russ.)
- Karim, A., Gerliani, N., & Aider, M. (2020). *Kluyveromyces marxianus*: An emerging yeast cell factory for applications in food and biotechnology. *International Journal of Food Microbiology*, 333, 108818. <https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2020.108818>
- Katke, S., Rahman, M., & Patil, P. (2019). Standardization and quality evaluation of sour cream enriched therapeutic food products. *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*, 8(3), 1449–1461.
- Nugroho, A. D. W., Kleerebezem, M., & Bachmann, H. (2021). Growth, dormancy and lysis: the complex relation of starter culture physiology and cheese flavour formation. *Current Opinion in Food Science*, 39, 22–30.
- Slyvka, I. M., Tsisaryk, O. Y., Dronyk, G. V., & Musiy, L. Y. (2018). Strains of lactic acid bacteria isolated from traditional Carpathian cheeses. *Regulatory Mechanisms in Biosystems*, 9(1), 62–68. <http://doi.org/10.15421/021808>
- Surber, G., Spiegel, T., Dang, B. Ph., Wolfschoon Pombo, A., Rohm, H., & Jaros, D. (2021). Cream cheese made with exopolysaccharide-producing *Lactococcus lactis*: Impact of strain and curd homogenization pressure on texture and syneresis. *Journal of Food Engineering*, 308, 110664. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2021.110664>.

<https://doi.org/10.36107/hfb.2024.il.s199>

Реализация лечебно-профилактического потенциала оздоровительной пищевой продукции – фокус на эффективность (обзор методологии исследования)

А. С. Уткина, П. Г. Молодкина, В. П. Карагодин

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

Корреспонденция:

Уткина Александра Сергеевна,
Российский экономический университет им. Г.В. Плеханова,
117997, Россия, г. Москва,
Стремянный переулок, д. 36.
E-mail: ytkinaas@yandex.ru

Конфликт интересов:

авторы сообщают об отсутствии конфликта интересов.

Поступила: 19.02.2024

Поступила после

рецензирования: 27.04.2024

Принята: 02.05.2024

Copyright: © 2024 Авторы

АННОТАЦИЯ

Введение. В настоящее время российский рынок продуктов с особым влиянием на здоровье (ПОВЗ) развивается недостаточно динамично, реальная польза таких продуктов часто не соответствует ожиданиям потребителей. Предполагается, что одной из причин этого является отсутствие достоверно подтвержденной эффективности, дозировки, длительности воздействия на организм и последствий.

Цель. Авторами была поставлена цель представить современную методологию решения этих проблем на различных уровнях, включая клеточный и организменный на основе анализа отечественных и зарубежных публикаций последних лет.

Материалы и методы. Для написания настоящего обзора использовались рецензируемые оригинальные статьи, обзоры и монографии, опубликованные в период с 2003 по 2023 год, на русском и английском языке. В исследуемую подборку источников вошли 112 публикаций, размещенных в отечественных и зарубежных базах данных, таких, как Scopus, Web of Science, SciHub, PubMed, Google scholar, e-library и РИНЦ. При анализе публикаций на предмет релевантности теме было отобрано 56 источников, которые в дальнейшем детально исследовали.

Результаты. Авторами рассмотрено состояние нормативно-правового регулирования эффективности ПОВЗ в России и за рубежом, а также обсуждены следующие вопросы: биологические модели *in vitro* и *in vivo* для тестирования эффективности ПОВЗ, комплексный подход к изучению иммунотропной активности ПОВЗ, фудомика и искусственный интеллект для анализа эффективности ПОВЗ.

Выводы. Эксперименты на биомоделях *in vitro* сохраняют в будущем свою значимость для оценки молекулярных и клеточных механизмов действия ПОВЗ, а также величины эффекта, тогда как опыты *in vivo* не только обеспечат системный анализ получаемых результатов, но и конкретизируют дозу, необходимую длительность воздействия и продолжительность последствий, а также прочие характеристики изучаемого оздоровительного продукта.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА

искусственный интеллект; фудомика; эффективность; тестирование *in vitro* и *in vivo*; оздоровительная пищевая продукция; нутрицевтики



Для цитирования: Уткина, А. С., Молодкина, П. Г., & Карагодин, В. П. (2024). Реализация лечебно-профилактического потенциала оздоровительной пищевой продукции – фокус на эффективность (обзор методологии исследования). *Health, Food & Biotechnology*, 6(1), 13–22. <https://doi.org/10.36107/hfb.2024.il.s199>

<https://doi.org/10.36107/hfb.2024.il.s199>

Realization of the Therapeutic and Preventive Potential of Health–Improving Food Products – Focus on Effectiveness (Review of Research Methodology)

Aleksandra S. Utkina, Polina G. Molodkina, Vasily P. Karagodin

Plekhanov Russian University
of Economics, Moscow, Russia

Correspondence:

Aleksandra S. Utkina,
Plekhanov Russian University
of Economics, 36, Stremyanny per.,
Moscow, 117997, Russia
E-mail: ytkinaas@yandex.ru

Declaration of competing interest:
none declared.

Received: 19.02.2024

Received in revised form: 27.04.2024

Accepted: 02.05.2024

Copyright: © 2024 The Authors

ABSTRACT

Introduction. Currently, the Russian market of products with special health effects (POVZ) is not developing dynamically enough; the real benefits of such products often do not meet consumer expectations. It is assumed that one of the reasons for this is the lack of reliably confirmed effectiveness, dosage, duration of exposure to the body and aftereffects.

Purpose. The authors set a goal to present a modern methodology for solving these problems at various levels, including cellular and organismal, based on an analysis of domestic and foreign publications in recent years.

Materials and Methods. To write this review, peer-reviewed original articles, reviews and monographs published in Russian and English between 2003 and 2023 were used. The studied selection of sources included 112 publications posted in domestic and foreign databases, such as Scopus, Web of Science, SciHub, PubMed, Google scholar, e-library and RISC. When analyzing publications for relevance to the topic, 56 sources were selected, which were further examined in detail.

Results. The authors presented the state of legal regulation of the effectiveness of POVZ in Russia and abroad, and also discussed the following issues: biological models in vitro and in vivo for testing the effectiveness of POVZ, an integrated approach to studying the immunotropic activity of POVZ, foodomics and artificial intelligence for analysis efficiency of POVZ.

Conclusions. Experiments on in vitro biomodels will remain in the future importance for assessing the molecular and cellular mechanisms of action of POVZ, as well as the magnitude of the effect, while in vivo experiments will not only provide a systematic analysis of the results obtained, but will also specify the dose, the required duration of exposure and the duration of the aftereffect, as well as other characteristics of the health product being studied.

KEYWORDS

artificial intelligence; foodomics; effectiveness; in vitro and in vivo testing; health food products; nutraceuticals



To cite: Utkina, A. S., Molodkina, P. G., & Karagodin, V. P. (2024). Realization of the therapeutic and preventive potential of health–improving food products – focus on effectiveness (review of research methodology). *Health, Food & Biotechnology*, 6(1), 13–22. <https://doi.org/10.36107/hfb.2024.il.s199>

Введение

История использования человеком пищевой продукции с особым влиянием на здоровье (ПОВЗ), известной в настоящее время как нутрицевтики, БАДы, функциональные и специализированные пищевые продукты, функциональные ингредиенты (ФИ) и т. п., насчитывает не одну сотню лет. Тем не менее, следует признать, что надежда на лечебно-профилактическую полезность такой продукции, соизмеримую с действием классических лекарственных средств, не оправдалась — потеснить «Большую Фарму» пока не удалось.

Зарубежный опыт в этой области подтверждает сказанное. Так, в 2016 году в специальном выпуске профильного журнала (Chen et al., 2016) редакторы утверждали, что слабое внимание FDA к регулированию (включая этикетирование) нутрицевтиков обусловлено отсутствием достоверных данных об их клинической активности, что не мешает, однако, сбыту такой продукции в серьезных количествах. Авторы приводили пример с популярным, особенно в Китае, грибом линчжи (*Ganoderma*), эффективность которого была подтверждена *in vitro* и *in vivo* на лабораторных животных. Однако в трех рандомизированных клинических исследованиях достоверных эффектов не было обнаружено, что отражено, включая мета-анализ, в Кохрановской базе данных (Klupp et al., 2015, Jin et al., 2016). В течение последующих лет ситуация с нормативно-правовым регулированием ПОВЗ в США изменялась в лучшую сторону, формировалась система оценки научного обоснования их практического использования в оздоровительных целях (Wei et al., 2019, Zong et al., 2018), хотя в целом согласованная позиция экспертов по многим вопросам по-прежнему отсутствует.

По имеющимся оценкам (Гаптар и др., 2021, Молибога и др., 2022), в настоящее время российский рынок ПОВЗ развивается недостаточно динамично, товарное предложение не оптимизировано в соответствии со спросом, реальная польза таких продуктов часто не соответствует ожиданиям потребителей. В России существует огромное количество разработчиков и разработок товаров этой категории (НИИ, ВУЗы, коммерческие структуры), однако жизненный цикл многих новых ПОВЗ заканчивается практически сразу после их создания и утверждения сопроводительных нормативных документов. С учетом текущей ситуации на рынке ПОВЗ, наиболее дискуссионными вопросами являются эффективность этой продукции и способы ее продвижения. Современным подходам к решению первой из этих проблем посвящен данный обзор.

Нормативно-правовое регулирование эффективности ПОВЗ в России

Для большинства вышеуказанных товарных групп ПОВЗ обязательным требованием является экспериментально подтвержденная эффективность (наряду с подтвержденной пищевой безопасностью). Только в этом случае они будут соответствовать своему нормативному определению (термину).

Порядок оценки сведений о пищевой ценности и эффективности специализированных и функциональных пищевых продуктов, учитывающий практический опыт зарубежных стран в этой области, установлен в ГОСТ Р 55577–2013 «Продукты пищевые специализированные и функциональные. Информация об отличительных признаках и эффективности». К сожалению, этот ГОСТ не лишен недостатков, а соответствие его требованиям не может гарантировать эффективность ПОВЗ в полной мере.

Известна схема получения доказательной базы по эффективности специализированной диетической лечебной и диетической профилактической пищевой продукции, предложенная Минздравом РФ в 2016 году¹. Несколько позже (2017 г.) был опубликован (Глазкова и др., 2017) близкий по идеологии документ, разработанный «ФЦ питания, биотехнологии и безопасности пищи» — алгоритм оценки эффективности специализированной пищевой продукции (СПП). В нем предусмотрен скрининг активных компонентов через исследования *in silico*, *in vitro* и *in vivo*, базирующийся на информационно-аналитическом анализе современной научной литературы таким образом, чтобы включение ФИ в состав пищевого матрикса было научно обоснованным. Эффективность конечного продукта также должна оцениваться в клинических условиях. Дальнейшее развитие этого подхода было изложено в работе Кочетковой и соавторов (Кочеткова и др., 2020).

Тем не менее, получение доказательной базы по эффективности ПОВЗ, что могло бы послужить научным обоснованием протоколов их практического применения, по-прежнему тормозится многими факторами, основными из которых являются длительность и высокая стоимость соответствующих клинических испытаний.

Дополнительные трудности связаны с многокомпонентностью состава ПОВЗ, причем нередки ситуации, когда разработчики и производители этой продукции сами затрудняются в идентификации активного (действующего) начала. Более того, попытки сконцентрировать

¹ О направлении Порядка проведения исследований эффективности специализированной диетической лечебной и диетической профилактической пищевой продукции: Письмо Министерства здравоохранения Российской Федерации от 01 сентября 2016 г. №28–1/2406 // Гарант: информационно-правовой портал. — URL: <https://base.garant.ru/72071004/>.

активные компоненты в ПОВЗ за счет дополнительной очистки могут привести к снижению их оздоровительной эффективности (Abdelmohsen et al., 2022), видимо, вследствие утраты потенцирующих минорных соединений.

Поэтому неудивительно, что до сих пор подавляющее большинство ПОВЗ предлагается рынку при отсутствии научно обоснованных протоколов применения, что часто предопределяет их дальнейшую незавидную судьбу. По нашему мнению, главным образом это связано с отсутствием достоверно подтвержденной эффективности, дозировки, длительности воздействия на организм и последствия. Тем не менее, существуют разные по сложности и реализации возможности решения данной проблемы, представленные ниже.

Биологические модели разного уровня для тестирования эффективности ПОВЗ

Модели *in vitro*

Исследования *in vitro*, выполняемые на клеточных культурах, позволяют проводить видоспецифичный, относительно простой (по сравнению с действием на весь организм), удобный и информативный анализ характеристик ПОВЗ. Довольно часто такие методы позволяют дать скрининговую оценку эффективности (и безопасности) любых веществ (Mortensen et al., 2008). Исследование механизмов действия и специфической биологической активности *in vitro* различных нутриентов — обязательная и неотъемлемая часть в процессе разработки ПОВЗ. Эффекты многокомпонентных пищевых систем уже активно изучаются *in vitro* с помощью моделей тканевых культур, таких, как HT-20, Caco-2 и аналогичных (Blanter et al., 2021, Motilva et al., 2015, Nikolic et al., 2018).

Модели *in vitro* подходят для микрочипирования ДНК, протеомного и транскриптомного анализов (García-Saïas et al., 2010, Buzdin et al., 2021). Видимо, целесообразно еще шире применять культуру иммунокомпетентных клеток для скрининга перспективных объектов природного происхождения, в том числе клеточную линию THP-1 как одну из общепринятых моделей для изучения иммунного ответа моноцитов и макрофагов (Кокинос и др., 2022, Chen et al., 2023), что уже успешно осуществляется за рубежом (Baillif et al., 2018).

Так, известны результаты исследований на клеточных моделях (Moss et al., 2016), в которых антиатеросклеротическое действие ПОВЗ изучалось *in vitro* на макрофагах. В частности, комбинация из трех биологически активных веществ (*фитостерина*, *полиненасыщенных жирных кислот омега-3* и *флавонолов*) ингибировала образование пенистых клеток, мобилизацию моно-

цитов и поляризацию макрофагов с образованием их провоспалительных фенотипов. Авторы рассматривают обнаруженное явление как потенциальный антиатеросклеротический эффект, связанный с таким защитным механизмом, как подавление экспрессии двух генов-мишеней.

Более того, клеточный культуральный тест рассматривается как наиболее адекватный способ моделирования ранних процессов атерогенеза (Karagodin et al., 2020), что позволяет дать оценку антиатерогенного потенциала и провести испытания, необходимые для скрининга перспективных ПОВЗ. К разработанным авторами тест-моделям относятся клеточные модели интимы аорты и моноциты-макрофаги для оценки накопления и оттока холестерина, образования цитокинов. Эти модели в экспериментах *in vitro* позволяют определять, как изменяются под влиянием ПОВЗ перераспределение холестерина в клетках и экспрессия связанных с воспалением цитокинов HLA-DR, ICAM-1, IL-1 и TNF-α. В частности, порошок из лука-луковицы лука (*Allium* сера) оказался весьма эффективным антиатеросклеротическим продуктом, вызывающим снижение содержания холестерина в нагруженных им клетках, что связывают с действием входящих в его состав *флавоноидов*, *сапонинов*, *аллицина*.

Нутригеномика и транскриптомный анализ дали новый толчок развитию исследований механизма действия ПОВЗ на клеточном уровне. Иммуномодулирующее действие глюканов рассматривается как их основной эффект (Van Steenwijk et al., 2021). Опыты на макрофагах позволили идентифицировать гены, дифференциально экспрессируемые под действием глюканов разного сырьевого происхождения и приблизиться к пониманию молекулярных механизмов действия таких ПОВЗ (Уткина и др., 2023). Полученные данные удачно дополняют сведения, получаемые при практическом применении глюканов в оздоровительных целях *in vivo*, причем с участием испытуемых-добровольцев (Utkina et al., 2021).

В то же время тестирование ПОВЗ *in vitro* имеет ряд методических особенностей и ограничений, которые следует принимать во внимание при интерпретации экспериментальных результатов. Показательным примером является исследование антиканцерогенного действия *ресвератрола* на культуру клеток LNCap (Yasmeen et al., 2017). Авторы обнаружили, что при высоких концентрациях (более 5 мкМ) ресвератрола наблюдается ингибирование роста раковых клеток, тогда как этот эффект отсутствует при более низких, физиологических концентрациях ресвератрола.

В этой связи интересно заметить, что в опытах на клетках эпителия было установлено влияние ПОВЗ (*пептидов*) на активность 25 генов, связанных с окислитель-

ным стрессом, но только 3 из них изменяли уровень экспрессии под действием физиологических концентраций пептидов (Framroze et al., 2018).

Помимо неадекватного подбора концентраций ПОВЗ в экспериментах *in vitro*, наблюдаемые эффекты в значительной степени зависят от специфики клеток-мишеней. Так, при оценке возможного действия ПОВЗ на внутренние органы следует учитывать наличие промежуточных биологических звеньев процесса, тогда как с клетками, например, эпителий контакт является более прямым, непосредственным (Yasmeen et al., 2017).

Итак, опыты *in vitro* дают представление о метаболических путях и реакциях на тестируемые стимулы на клеточном и молекулярном уровнях. Благодаря достижениям цитологии и молекулярной биологии, использование таких моделей становится все более точным с точки зрения прогнозирования возможных результатов *in vivo*. Однако эта прогностическая ценность должна опираться на фундаментальные знания о преимуществах и ограничениях моделей как в нутригеномных исследованиях, как и в других областях биомедицины (Nikolic et al., 2018, Uthpala et al., 2020).

Тестирование *in vivo*

Эксперименты *in vivo* на лабораторных животных рассматриваются в фармакологии как доклинические исследования и имеют как подробно описанные достоинства (Еремина и др., 2020), так и свои недостатки. Например, достаточно часто наблюдается их несоответствие результатам опытов *in vitro* (Раменская и др., 2011). Здесь также возможны ошибки в обеспечении эквивалентности доз, но присутствуют и другие причины. Важно принимать во внимание способы введения ПОВЗ в организм животных, а также данные по биодоступности и биоусвояемости (Викторова и др., 2021).

С учетом экстраполяции получаемых результатов на человека, желаемым является оценка эффектов при длительном потреблении ПОВЗ. Более того, геномные и физиологические особенности животных часто не достигают уровня сложности устройства человеческого организма, даже если не учитывается генетический полиморфизм и персонализация питания (Emes et al., 2003). К тому же важность не только прямых, но и опосредованных эффектов ПОВЗ возрастает благодаря появлению все новых данных об их влиянии на функционирование микробиома человека (Kanauchi et al., 2018, Beane et al., 2021).

Необходимо также конкретизировать товарную форму ПОВЗ — капсулы БАВ могут действовать иначе, чем те же самые биологически активные вещества в составе

более сложного пищевого матрикса. И здесь дополнительно возникает проблема адекватности контроля — в идеале он должен отличаться от опытного образца только отсутствием в матриксе активного начала, для чего, возможно, придется использовать инструменты генной инженерии. Иногда эта проблема успешно преодолевается за счет предоставления плацебо производителем изучаемого ПОВЗ, как описано в работе (Cicero et al., 2015), где утверждается, что контрольный образец имеет те же внешние признаки и органолептические характеристики, что и опытный.

В целом же следует признать, что методы доказательной медицины при тестировании ПОВЗ на эффективность *in vivo* с участием людей применяются в очень редких случаях, с недостаточной статистикой, особенно в отечественной практике. Это находится в очевидном противоречии с зарубежным опытом, особенно когда речь идет об авторитетных научных организациях. Так, американский Центр Функциональных Пищевых Продуктов опубликовал 15-стадийный процесс разработки и рыночного внедрения новых ПОВЗ, в этапы которого входят не только установление молекулярных механизмов действия компонентов активного начала и идентификация биомаркеров, но и клинические исследования для определения дозировки, эффективности и безопасности конечного продукта (Chen et al., 2021).

Комплексный подход к изучению иммунотропной активности ПОВЗ

Эпидемиологическая ситуация последних лет привлекла дополнительное внимание ученых к ПОВЗ как инструментам усиления иммунного потенциала организма в борьбе с вирусными заболеваниями, и полученные данные можно обобщить даже при условии снижения требований к строгости доказательств эффективности ПОВЗ (Singh et al., 2021).

Так, *in vitro* и *in vivo* показано, что *куркумин* снижает интенсивность воспалительных процессов за счет влияния на экспрессию цитокинов и хемокинов (IFN γ , MCP1, IL-6, and IL-10), вовлеченных в развитие вирусной инфекции. Однако нестабильность препаратов куркумина и его низкая биодоступность *in vivo* препятствуют широкому оздоровительному применению этого ПОВЗ (Zahedipour et al., 2020, Hassanizadeh et al., 2023).

Эффекты *витамина D* осуществляются посредством геномных и негеномных механизмов (Уткина и др., 2021), что положительно отражается на многих аспектах иммунитета (Carlberg et al., 2018). Однако по-прежнему отсутствуют строгие доказательства того, что повышение его содержания в сыворотке крови благоприятно для здоровья (Christakos et al., 2016; Долго-Сабурова

и др., 2021). Нутригеномные данные *in vivo* получены как нами (Utkina et.al., 2021), так и в рамках рандомизированного контролируемого исследования (Medeiros et.al., 2020) по влиянию витамина D на экспрессию рецептора этого витамина (белка VDR), причем результаты имеют сходный характер. Несомненный интерес представляют и результаты модулирования иммунной системы витамином D в параллельных опытах *in vitro* (макрофаги THP-1) и *in vivo* (Carlberg et.al., 2018). Авторами подтвержден полиморфизм генов-мишеней и персонализация действия витамина *in vivo*, но полное понимание механизмов его участия в сигнальных цепях было бы невозможно без опытов на культуре клеток *in vitro*.

К сожалению, данные об эффективности белков и пептидов молока, функциональных пищевых продуктов (Khalaf et.al., 2021), БАД (Floyd et.al., 2022) по отношению к действию на иммунную систему в целях борьбы с вирусами, полученные на уровнях *in vitro* и *in vivo*, являются малоубедительными с позиций доказательной медицины.

Пока определенные надежды сохраняются на такой комплексный инструмент изучения ПОВЗ, как «гомункулус», или модель человеческого организма на чипе (Danku et.al., 2022). На чипах-микробиореакторах моделируются разные органы и ткани человека, что позволяет тестировать их реакции на вводимые лекарства или нутриенты.

Здесь более чем уместно провести сравнение с подходом фармакологов к оценке средств, предназначенных для воздействия на различные звенья иммунной системы с целью профилактики и лечения инфекционных заболеваний (Хаитов и др., 2020). Считается, что важнейшее значение имеют изученность механизма действия препарата на молекулярном и клеточном уровне, наличие рецепторов к нему в клетках иммунной системы и особенности воздействия на рецептор. Показательным примером разработки и вывода на рынок является препарат на основе глюкозаминилмурамил-дипептида Ликопид. Этот препарат в первую очередь активирует врожденный иммунитет (Пинегин и др., 2019) и практически не обладает побочным действием при приеме в профилактических целях. Ликопид прошел все доклинические и клинические испытания по правилам GLP и GCP. В частности, он активирует клетки иммунной системы *in vitro*. В опытах на лабораторных животных показано, что Ликопид усиливает иммунный ответ на различные антигены, в том числе микробные.

Фудомика и ИИ как новые подходы к анализу эффективности ПОВЗ

В последние годы к изучению эффективности ПОВЗ были подключены омикс-технологии, известные как фудомика (геномика, эпигеномика, транскриптомика, протеомика, метаболомика) (Srinivasan, 2020, Pandita et.al., 2022, Ahmed et. Al., 2022). Это привело не только к получению новых данных, но и к выявлению новых вызовов. Уже признано (Khorraminezhad et.al., 2020), что традиционные методы статистики недостаточны для обработки и интерпретации результатов фудомики (т. н. дата-сетов). В этой связи авторы предлагают использовать возможности ИИ в форме машинного обучения для реализации таких процедур, как интеллектуальный анализ данных, кластеризация и классификация образцов и т. п., что позволяет, в том числе, моделировать и прогнозировать взаимодействие нутриент-организм (Class et. al., 2021).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Подводя итог представленным данным и их интерпретации, можно сделать следующее заключение. Наиболее вероятно, что в течение ближайших нескольких лет методический уровень оценки эффективности ПОВЗ не достигнет соответствующего уровня оценки лекарственных средств по критериям доказательной медицины. Тем не менее, очевидно, что как нормативно-правовое регулирование, так и научное обеспечение практического использования ПОВЗ в оздоровительных целях будет совершенствоваться. Видимо, важную роль в этом процессе будет играть фудомика, дополненная возможностями искусственного интеллекта. Эксперименты на биомоделях *in vitro* (с акцентом на использовании иммунокомпетентных клеток, в частности макрофагов) сохраняют свою значимость для оценки молекулярных и клеточных механизмов действия ПОВЗ, а также величины эффекта, тогда как опыты *in vivo* не только обеспечат системный анализ получаемых результатов, но и конкретизируют дозу, необходимую длительность воздействия и продолжительность последствий, а также прочие характеристики изучаемого продукта.

ВКЛАД АВТОРОВ

Уткина А.С.: деятельность по аннотированию (созданию метаданных), аккумулированию исследовательских данных как для первоначального использования, так и для последующего повторного использования; подготовка и создание черновика рукописи, в частности написание первоначального текста рукописи; подготовка и создание рукописи, её комментирование или пересмотр, включая этапы до или после публикации рукописи.

Молодкина П.Г.: разработка и проектирование методологии исследования; создание модели исследования; ответственность за управление и координацию планирования и осуществления научно-исследовательской деятельности.

Карагодин В.П.: научное руководство исследованием; формулирование идеи; формулирование исследовательских целей и задач; надзор и руководство за планированием и выполнением исследовательской деятельности, включая наставничество.

ЛИТЕРАТУРА

- Викторова, Е. П., Лисовая, Е. В., Свердличенко, А. В., Воробьева, О. В., & Основин, И. В. (2021). Актуальные вопросы применения комплексов микронутриентов для обогащения продуктов питания. *Технологии пищевой и перерабатывающей промышленности АПК – продукты здорового питания*, (1), 89–97.
- Viktorova, E. P., Lisovaya, E. V., Sverdlichenko, A. V., Vorobyova, O. V., & Osnovin, I. V. (2021). Current issues in the use of micronutrient complexes for food fortification. *Technologies of the Food and Processing Industry of the Agro-Industrial Complex – Healthy Food Products*, (1), 89–97. (In Russ.)
- Гаптар, С. Л., Сороколетов, О. Н., Тарабанова, Е. В., Кошелева, Е. А., Лисиченко, О. В., & Головкин, А. Н. (2021). Расширение ассортиментной линейки пищевых продуктов специализированного назначения и функциональной направленности. *Инновации и продовольственная безопасность*, 4(34), 55–67.
- Gaptar, S. L., Sorokoletov, O. N., Tarabanova, E. V., Kosheleva, E. A., Lisichenok, O. V., & Golovko, A. N. (2021). Expansion of the assortment of food products for specialized purposes and functional orientation. *Innovation and Food Security*, 4(34), 55–67. (In Russ.)
- Глазкова, И. В., Саркисян, В. А., Сидорова, Ю. С., Мазо, В. К., & Кочеткова, А. А. (2017). Основные этапы оценки эффективности специализированных пищевых продуктов. *Пищевая промышленность*, (12), 8–11.
- Glazkova, I. V., Sarkisyan, V. A., Sidorova, Yu. S., Mazo, V. K., & Kochetkova, A. A. (2017). The main stages of assessing the effectiveness of specialized food products. *Food Industry*, (12), 8–11. (In Russ.)
- Долго-Сабурова, Ю. В., Зазерская, И. Е., & Дорофейков, В. В. (2021). Витамин D и противоинфекционный иммунитет. Выбор метода диагностики и контроля лечения дефицита и недостаточности витамина D. *Лабораторная служба*, 10(2). <https://doi.org/10.17116/labs20211002147>
- Dolgo-Saburova, Yu. V., Zazerskaya, I. E., & Dorofeykov, V. V. (2021). Vitamin D and anti-infective immunity. Choosing a method for diagnosing and monitoring the treatment of vitamin D deficiency and insufficiency. *Laboratory Service*, 10(2). <https://doi.org/10.17116/labs20211002147> (In Russ.)
- Еремина, Н. В., Колик, Л. Г., Островская, Р. У., & Дурнев, А. Д. (2020). Доклинические исследования нейротоксических свойств новых лекарственных препаратов in vivo. *Вестник Научного центра экспертизы средств медицинского применения*, (3), 164–176.
- Eremina, N. V., Kolik, L. G., Ostrovskaya, R. U., & Durnev, A. D. (2020). Preclinical studies of the neurotoxic properties of new drugs in vivo. *Bulletin of the Scientific Center for Expertise of Medical Products*, (3), 164–176. (In Russ.)
- Кокинос, Е. К., Кузьмина, Д. О., Кучур, О. А., Цымбал, С. А., Василичин, В. А., Галочкина, А. В., Завирский, А. В., Башарин, В. А., Штро, А. А., Штиль, А. А., & Духинова, М. С. (2022). Фенотипический и функциональный анализ линии моноцитов THP-1 как модели воспаления. *Иммунология*, 43(3), 277–287. <https://doi.org/10.33029/0206-4952-2022-43-3-277-287>
- Kokinos, E. K., Kuzmina, D. O., Kuchur, O. A., Tsymbal, S. A., Vasilichin, V. A., Galochkina, A. V., Zavirsky, A. V., Basharin, V. A., Stroh, A. A., Shtil, A. A., & Dukhinova, M. S. (2022). Phenotypic and functional analysis of the THP-1 monocyte line as a model of inflammation. *Immunology*, 43(3), 277–287. <https://doi.org/10.33029/0206-4952-2022-43-3-277-287> (In Russ.)
- Кочеткова, А. А., Воробьева, В. М., Саркисян, В. А., Воробьева, И. С., Смирнова, Е. А., & Шатнюк, Л. Н. (2020). Динамика инноваций в технологии производства пищевых продуктов: от специализации к персонализации. *Вопросы питания*, 89(4), 233–243. <https://doi.org/10.24411/0042-8833-2020-10056>
- Kochetkova, A. A., Vorobyova, V. M., Sarkisyan, V. A., Vorobyova, I. S., Smirnova, E. A., & Shatnyuk, L. N. (2020). Dynamics of innovation in food technology: from specialization

- to personalization. *Nutrition Issues*, 89(4), 233–243. <https://doi.org/10.24411/0042-8833-2020-10056> (In Russ.)
- Молибога, Е. А., Сухостав, Е. В., Козлова, О. А., & Зинич, А. В. (2022). Анализ рынка функционального питания: российский и международный аспект. *Техника и технология пищевых производств*, 52(4), 775–786.
- Moliboga, E. A., Sukhostav, E. V., Kozlova, O. A., & Zinich, A. V. (2022). Analysis of the functional food market: Russian and international aspects. *Equipment and Technology of Food Production*, 52(4), 775–786. (In Russ.)
- Пинегин, Б. В., & Хаитов, Р. М. (2019). Современные принципы создания иммуноотропных лекарственных препаратов. *Иммунология*, 40(6), 57–62.
- Pinegin, B. V., & Khaitov, R. M. (2019). Modern principles of creating immunotropic drugs. *Immunology*, 40(6), 57–62. (In Russ.)
- Раменская, Г. В., Шохин, И. Е., Давыдова, К. С., & Савченко, А. Ю. (2011). In vivo in vitro корреляция (ivivc): современный инструмент для оценки поведения лекарственных форм в условиях in vivo. *Медицинский альманах*, (1), 222–226.
- Ramenskaya, G. V., Shokhin, I. E., Davydova, K. S., & Savchenko, A. Yu. (2011). In vivo in vitro correlation (ivivc): a modern tool for assessing the behavior of dosage forms under in vivo conditions. *Medical Almanac*, (1), 222–226. (In Russ.)
- Уткина, А. С., & Карагодин, В. П. (2023). Коммерчески доступные глюканы разного сырьевого происхождения – оптимизация использования с позиций нутригеномики. *Индустрия питания*|*Food Industry*, 8(2), 6–12. <https://doi.org/10.29141/2500-1922-2023-8-2-1>
- Utkina, A. S., & Karagodin, V. P. (2023). Commercially available glucans of different raw materials – optimization of use from the standpoint of nutrigenomics. *Food Industry*|*Food Industry*, 8(2), 6–12. <https://doi.org/10.29141/2500-1922-2023-8-2-1> (In Russ.)
- Уткина, А. С., Козлов, А. Н., Никитин, И. А., & Карагодин, В. П. (2021). Витамин D: фокус на группах риска и нетрадиционных источниках. *Технология и товароведение инновационных пищевых продуктов*, 6(71), 57–71.
- Utkina, A. S., Kozlov, A. N., Nikitin, I. A., & Karagodin, V. P. (2021). Vitamin D: focus on risk groups and non-traditional sources. *Technology and Merchandising of Innovative Food Products*, 6(71), 57–71. (In Russ.)
- Хаитов, Р. М. (2020). Иммуномодуляторы: мифы и реальность. *Иммунология*, 41(2), 101–106. <https://doi.org/10.33029/0206-4952-2020-41-2-101-106>
- Khaitov, R. M. (2020). Immunomodulators: myths and reality. *Immunology*, 41(2), 101–106. <https://doi.org/10.33029/0206-4952-2020-41-2-101-106>. (In Russ.)
- Abdelmohsen, U. R., Sayed, A. M., & Elmaidomy, A. H. (2022). Natural Products' Extraction and Isolation-Between Conventional and Modern Techniques. *Frontiers in Natural Products*, 1, 873808. <https://doi.org/10.3389/fntpr.2022.873808>
- Ahmed, S., de la Parra, J., Elouafi, I., German, B., Jarvis, A., Lal, V., Lartey, A., Longvah, T., Malpica, C., Vázquez-Manjarrez, N., Prenni, J., Aguilar-Salinas, C. A., Srichamnong, W., Rajasekharan, M., Shafizadeh, T., Siegel, J. B., Steiner, R., Tohme, J. & Watkins, S. (2022) Foodomics: A Data-Driven Approach to Revolutionize Nutrition and Sustainable Diets. *Frontiers in Nutrition*, 9, 874312. <https://doi.org/10.3389/fnut.2022.874312>
- Baillif, B., Wichard, J., Méndez-Lucio, O., & Rouquié, D. (2020). Exploring the Use of Compound-Induced Transcriptomic Data Generated From Cell Lines to Predict Compound Activity Toward Molecular Targets. *Frontiers in Chemistry*, 8, 296. <https://doi.org/10.3389/fchem.2020.00296>
- Beane, K. E., Redding, M. C., Wang, X, Pan, J. H., Le, B., Cicalo, C., Jeon, S., Kim, Y.J., Lee, J.H., Shin, E.-Ch., Li, Y., Zhao, J., & Kim, J. K. (2021). Effects of dietary fibers, micronutrients, and phytonutrients on gut microbiome: a review. *Applied Biological Chemistry*, 64, 36. <https://doi.org/10.1186/s13765-021-00605-6>
- Blanter, M., Gouwy, M., & Struyf, S. (2021). Studying Neutrophil Function in vitro: Cell Models and Environmental Factors. *Journal of Inflammation Research*, 14, 141–162. <https://doi.org/10.2147/JIR.S284941>
- Buzdin, A., Tkachev, V., Zolotovskaia, M., Garazha, A., Moshkovskii, S., Borisov, N., Gaifullin, N., Sorokin, M., & Suntsova M. (2021) Using proteomic and transcriptomic data to assess activation of intracellular molecular pathways. *Advances in Protein Chemistry and Structural Biology*, 127, 1–53. <https://doi.org/10.1016/bs.apcsb.2021.02.005>
- Carlberg, C. (2018). Vitamin D genomics: From in vitro to in vivo. *Frontiers in Endocrinology*, 9, 250. <https://doi.org/10.3389/fendo.2018.00250>
- Carlberg, C., & Haq, A. (2018). The concept of the personal vitamin D response index. *Journal of Steroid Biochemistry and Molecular Biology*, 175, 12–17. <https://doi.org/10.1016/j.jsbmb.2016.12.011>
- Chen, Q. M., & Alpert, J. S. (2016). Nutraceuticals: Evidence of benefit in clinical practice? *The American Journal of Medicine*, 129(9), 897–898. <https://doi.org/10.1016/j.amjmed.2016.03.036>
- Chen, S., & Martirosyan, D. (2021). Marketing strategies for functional food products. *Functional Foods in Health and Disease*, 11(8), 345–356. <https://doi.org/10.31989/ffhd.v11i8.817>
- Chen, S., Saeed, A. F. U. H., Liu, Q., Jiang, Q., Xu, H., Xiao, G. G., Rao, L., & Duo, Y. (2023). Macrophages in immunoregulation and therapeutics. *Signal Transduction and Targeted Therapy*, 8, 207. <https://doi.org/10.1038/s41392-023-01452-1>
- Christakos, S., Dhawan, P., Verstuyf, A., Verlinden, L. & Carmeliet, G. (2016). Vitamin D: metabolism, molecular mechanism of action, and pleiotropic effects. *Physiological Reviews*, 96(1), 365–408. <https://doi.org/10.1152/physrev.00014.2015>
- Cicero, A. F. G., & Colletti, A. (2015). Nutraceuticals and blood pressure control: Results from clinical trials and meta-analyses.

- High Blood Pressure & Cardiovascular Prevention*, 22(3), 203–213. <https://doi.org/10.1007/s40292-015-0081-8>
- Class, L.-C., Kuhn, G., Rohn, S., & Kuballa, J. (2021). Diving deep into the data: A review of deep learning approaches and potential applications in foodomics. *Foods*, 10, 1803. <https://doi.org/10.3390/foods10081803>
- Danku, A.E., Dulf, E.-H., Braicu, C., Jurj, A., Berindan-Neagoe, I. Organ-On-A-Chip. (2022). A survey of technical results and problems. *Frontiers in Bioengineering and Biotechnology*. 2022. 10:840674. <https://doi.org/10.3389/fbioe.2022.840674>.
- Emes, R. D., Goodstadt, L., Winter, E. E., & Ponting, C. P. (2003). Comparison of the genomes of human and mouse lays the foundation of genome zoology. *Human Molecular Genetics*, 12(7), 701–9. <https://doi.org/10.1093/hmg/ddg078>
- Floyd, Z. E., Ribnicky, D. M., Raskin, I., Hsia, D. S., Rood, J. C., & Gurley, B. J. (2022). Designing a clinical study with dietary supplements: It's all in the details. *Frontiers in Nutrition*, 8, 779486. <https://doi.org/10.3389/fnut.2021.77948>
- Framroze, B., Havaladar, F., & Misal, S. (2018). An in vitro study on the regulation of oxidative protective genes in human gingival and intestinal epithelial cells after treatment with salmon protein hydrolysate peptides. *Functional Foods in Health and Disease*, 8(8), 398–411. <https://doi.org/10.31989/ffhd.v8i8.529>
- García-Cañas, V., Simó, C., León, C., & Cifuentes, A. (2010). Advances in Nutrigenomics research: novel and future analytical approaches to investigate the biological activity of natural compounds and food functions. *Journal of pharmaceutical and biomedical analysis*, 51(2), 290–304. <https://doi.org/10.1016/j.jpba.2009.04.019>
- Hassanzadeh, S., Shojaei, M., Bagherniya, M., Orekhov, A. N., & Sahebkar, A. (2023). Effect of nano-curcumin on various diseases: A comprehensive review of clinical trials. *Biofactors*, 49(3), 512–533. <https://doi.org/10.1002/biof.1932>
- Jin, X., Ruiz Beguerie, J., Sze, D. M., & Chan, G. C. (2016). Ganoderma lucidum (Reishi mushroom) for cancer treatment. *Cochrane database of systematic reviews*, 4(4), CD007731. <https://doi.org/10.1002/14651858.CD007731.pub3>
- Kanauchi, O., Andoh, A., Bakar, S., & Yamamoto, N. (2018). Probiotics and paraprobiotics in viral infection: clinical application and effects on the innate and acquired immune systems. *Current Pharmaceutical Design*, 24, 710–7. <https://doi.org/10.2174/1381612824666180116163411>
- Karagodin, V. P., Sukhorukov, V. N., Orekhov, A. N., Yet, S.-F., & Sobenin, I. (2020). A. Prevention of atherosclerosis: the role of special diets and functional foods. *Frontiers in Bioscience. Elite*, 12, 95–101. <https://doi.org/10.2741/S540>
- Khalaf, A. T., Wei, Y., Alneamah, S. J. A., Al-Shawi, S. G., Kadir, S. Y. A., Zainol, J., & Liu, X. (2021). *BioMed Research International*, 2021, 8823222, 9. <https://doi.org/10.1155/2021/8823222>
- Khorraminezhad, L., Leclercq, M., Droit, A., Bilodeau, J., & Rudkowska, I. (2020). Statistical and machine-learning analyses in nutritional genomics studies. *Nutrients*, 12, 3140. <https://doi.org/10.3390/nu12103140>
- Clupp, N. L., Chang, D., Hawke, F., et al. (2015). Ganoderma lucidum mushroom for the treatment of cardiovascular risk factors. *The Cochrane database of systematic reviews*, 2015(2), CD007259. <https://doi.org/10.1002/14651858.CD007259.pub2>
- Medeiros, J. F. P., de Oliveira Borges, M. V., & Soares, A. A. (2020). The impact of vitamin D supplementation on VDR gene expression and body composition in monozygotic twins: randomized controlled trial. *Scientific Reports*, 10(1), 11943. <https://doi.org/10.1016/j.clnu.2019.08.015>
- Mortensen, A., Sorensen, I. K., Wilde, C., Dragoni, S., Mullerová, D., Toussaint, O., Zloch, Z., Sgaragli, G., & Ovesná, J. (2008). Biological models for phytochemical research: from cell to human organism. *British Journal of Nutrition*, 99, 118–26. <https://doi.org/10.1017/S0007114508965806>
- Moss, J. W. E., Davies, T. S., Garaiova, I., Plummer, S. F., Michael, D. R., & Ramji, D. P. (2016). A Unique Combination of Nutritionally Active Ingredients Can Prevent Several Key Processes Associated with Atherosclerosis In Vitro. *Public Library of Science*, 11(3), e0151057. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0151057>
- Motilva, M. J., Serra, A., & Rubió, L. (2015). Nutrikinetic studies of food bioactive compounds: from in vitro to in vivo approaches. *International Journal of Food Sciences and Nutrition*, 66, 41–52. <https://doi.org/10.3109/09637486.2015.1025721>
- Niculescu, A., Babotă, M., Barros, L., Rocchetti, G., Lucini, L., Tanase, C., Mocan, A., Bunea, C. I., & Crișan, G. (2023) Bioaccessibility and bioactive potential of different phytochemical classes from nutraceuticals and functional foods. *Frontiers in Nutrition*, 10, 1184535. <https://doi.org/10.3389/fnut.2023.1184535>
- Nikolic, M., Sustersic, T., & Filipovic, N. (2018). In vitro models and on-chip systems: Biomaterial Interaction studies with tissues generated using lung epithelial and liver metabolic cell lines. *Frontiers in Bioengineering and Biotechnology*, 6, 120. <https://doi.org/10.3389/fbioe.2018.00120>
- Pandita, D., & Pandita, A. (2022). Omics technology for the promotion of nutraceuticals and functional foods. *Frontiers in Physiology*, 13, 817247. <https://doi.org/10.3389/fphys.2022.817247>
- Singh, S., Kola, P., Kaur, D., Singla, G., Mishra, V., Panesar, P. S., Mallikarjunan, K., & Krishania, M. (2021). Therapeutic potential of nutraceuticals and dietary supplements in the prevention of viral diseases: A review. *Frontiers in Nutrition*, 8, 679312. <https://doi.org/10.3389/fnut.2021.679312>
- Srinivasan, M. (2020). Foodomics: The what, why and how of it. In: Singh, S. (Eds.) *Metagenomic Systems Biology*. https://doi.org/10.1007/978-981-15-8562-3_9
- Uthpala, T. G., Fernando, H. N., Thibbotuwawa, A., & Jayasinghe, M. (2020). Importance of nutrigenomics and nutrigenetics in food Science. *MOJ Food Processing & Technology*, 8(3), 114–119. <https://doi.org/10.15406/mojfpt.2020.08.00250>

- Utkina, A. S., & Karagodin, V. P. (2021). Nutrigenomics as a tool for optimizing the composition of specialized food products by the efficiency criterion. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 677(4), 042050.
- Utkina, A. S., Karagodin, V. P., Agapkin, A. M., & Kotelevtsev, S. V. (2021). Genotoxics in marine and freshwater fish of the Barents Sea Basin. *IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science*, 677, 052110. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/677/5/052110>
- Van Steenwijk, H. P., Bast, A., & de Boer, A. (2021). Immunomodulating effects of fungal beta-glucans: From traditional use to medicine. *Nutrients*, 13, 1333. <https://doi.org/10.3390/nu13041333>
- Wei, G., & Martirosyan, D. (2019). Hair loss: A review of the role of food bioactive compounds. *Bioactive Compounds in Health and Disease*, 2(5), 94–125. <https://doi.org/10.31989/bchd.v2i5.610>
- Yasmeen, R., Fukagawa, N. K., & Wang T. T. (2017). Establishing health benefits of bioactive food components: A basic research scientist's perspective. *Current Opinion in Biotechnology*, 44(Suppl. 1), 109–114. <https://doi.org/10.1016/j.copbio.2016.11.016>
- Zahedipour, F., Hosseini, S. A., Sathyapalan, T., Majeed, M., & Jamialahmadi, T. (2020). Potential effects of curcumin in the treatment of COVID-19 infection. *Phytotherapy Research*, 34, 2911–20. <https://doi.org/10.1002/ptr.6738>
- Zong, J., & Martirosyan, D. M. (2018). Anticancer effects of garlic and garlic-derived bioactive compounds and its potential status as functional food. *Bioactive Compounds in Health and Disease*, 1(2), 16–35. <https://doi.org/10.2174/187152011795347441>

Влияние состава газов в модифицированной газовой среде на хранимospособность фаршей из свинины

Н. А. Ставцева, Ю. М. Бухтеева

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

Корреспонденция:

Бухтеева Юлия Михайловна,
Российский биотехнологический университет (РОСБИОТЕХ),
125080, Россия, г. Москва,
Волоколамское шоссе, 11
E-mail: BukhteevaYM@mgupp.ru

Конфликт интересов:

авторы сообщают об отсутствии конфликта интересов.

Поступила: 15.12.2023

Поступила после
рецензирования: 18.04.2024

Принята: 11.05.2024

Copyright: © 2024 Авторы

АННОТАЦИЯ

Введение. Производство охлажденных полуфабрикатов – одно из приоритетных направлений промышленной переработки мясного сырья. Следует особо отметить, что промышленное производство полуфабрикатов облегчает решение задач государственного и потребительского контроля качества продукции, реализуемой через систему торговли и общественного питания. В настоящее время актуален вопрос продления сроков годности охлажденных рубленых полуфабрикатов, максимально сохранив начальное качество продукта. Технология упаковки в модифицированной газовой среде (МГС) является одним из способов сохранения показателей качества охлажденных пищевых продуктов, используется давно, также известен состав газов для определенных групп продуктов. Доказано, что видовой состав микроорганизмов, влияющих на хранимospособность мясных фаршей, зависит от % содержания газов в МГС.

Цель. Продемонстрировать при каких условиях мясные полуфабрикаты из свинины могут иметь максимальные сроки годности при сохранении высоких качественных показателей.

Материалы и методы. В статье представлен обзор исследований российских и европейских ученых о влиянии состава газовых сред на развитие микробиологических процессов в мясных полуфабрикатах. Приведены исследования и выводы ученых о развитии определенных штаммов бактерий в рубленых полуфабрикатах, упакованных в МГС без кислорода и с высоким содержанием кислорода. Представленные в науке сведения, касающиеся влияния соотношения газов в модифицированной газовой среде на хранимospособность фаршей из свинины, весьма ограничены. Указанное обстоятельство определило актуальность проведения дальнейших собственных исследований, объектом которых были фарши из свинины, упакованные в газовые смеси 30 % CO₂, 70 % O₂ и 30 % CO₂, 70 % N₂.

Результаты. Обнаружено, что в фарше в газовой смеси 30 % CO₂, 70 % O₂, срок годности в два раза меньше, чем в 30 % CO₂, 70 % N₂. Однако цвет фарша в газовой смеси 30 % CO₂, 70 % N₂ после упаковки начал изменяться по причине отсутствия кислорода, который необходим для окисления миоглобина мяса. Указанный эффект можно нивелировать за счет использования пищевых добавок.

Выводы. На основании проведенного анализа литературных данных и собственных исследований установлено, что для обеспечения длительного срока годности охлажденного мяса необходимо подбирать эффективное соотношение газов в составе МГС и комбинации пищевых добавок, учитывая видовой состав микроорганизмов и условия конкретного производства. Следует особо отметить, что для достижения максимальной хранимospособности продукции с применением технологии упаковки в МГС важно соблюдать комплексный подход и учитывать важнейшие факторы, влияющие на успешную реализацию технологии: высокое качества сырья, характер его автолиза, минимальную микробиологическую контаминацию продукта до упаковки, строгое соблюдение санитарно-гигиенических норм и правил, и температурных режимов.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА

модифицированная газовая среда (МГС); фарш из мяса свинины; охлажденные рубленые полуфабрикаты; продление срока годности; микробиологические и окислительные процессы; показатели качества; молочнокислые бактерии (МКБ); *Brochothrix thermosphacta*; санитарно-гигиенические нормы; лазерное излучение; микробиологическая клетка

Для цитирования: Ставцева, Н. А., & Бухтеева, Ю. М. (2024). Влияние состава газов в модифицированной газовой среде на хранимospособность фаршей из свинины. *Health, Food & Biotechnology*, 6(1), 23–30. <https://doi.org/10.36107/hfb.2024.il.s194>



<https://doi.org/10.36107/hfb.2024.i1.s194>

The Influence of the Composition of Gases in a Modified Atmosphere Packaging on the Storage Capacity of Minced Pork

Natalia A. Stavtseva, Yulia M. Bukhteeva

Russian Biotechnological University
(BIOTECH University), Moscow, Russia

Correspondence:

Yulia M. Bukhteeva,
Russian Biotechnological University,
11, Volokolamskoe highway,
Moscow, 125080, Russia
E-mail: BukhteevaYM@mgupp.ru

Declaration of competing interest:
none declared.

Received: 15.12.2023

Received in revised form: 18.04.2024

Accepted: 11.05.2024

Copyright: © 2024 The Authors

ABSTRACT

Introduction. The production of cooled semi-finished products is one of the priority areas of industrial processing of raw meat. It should be particularly noted that the industrial production of semi-finished products facilitates the solution of the tasks of state and consumer quality control of products sold through the system of retailing and public catering. Currently, the issue of extending the shelf life of minced meat is relevant, as well as preserving the initial quality of the product. The technology of packaging in a modified atmosphere packaging (MAP) is one of the ways to preserve the quality of cooled food products and it has been used for a long time. Also, the composition of gases for certain product groups is known. It has been proved that the species composition of microorganisms affecting the storage capacity of minced meat depends on the % content of gases in MAP.

Purpose. To demonstrate under what conditions pork semi-finished meat products can have maximum shelf life while maintaining high-quality. The article presents a review of research by Russian and European scientists on the influence of the composition of gaseous media on the development of microbiological processes in semi-finished meat products. The research and conclusions of scientists on the development of certain strains of bacteria in minced meat in MAP packaging without oxygen and with a high oxygen content are presented. The information presented in research articles concerning the effect of the ratio of gases in a modified gas medium on the storage capacity of minced pork is very limited. This circumstance determined the relevance of further in-house research of minced pork packed in gas mixtures of 30 % CO₂, 70 % O₂ и 30 % CO₂, 70 % N₂.

Results. The results of the conducted studies indicate that in minced meat in a gas mixture of 30 % CO₂, 70 % O₂, the shelf life is two times less than in 30 % CO₂, 70 % N₂. Moreover, the color of minced meat in a gas mixture of 30 % CO₂, 70 % N₂ after packaging began to change due to the lack of oxygen which is necessary for the oxidation of meat myoglobin. We can avoid this effect using food additives. Based on the analysis of the literature data and our own research, it was found that in order to ensure a long shelf life of cooled meat, it is necessary to select an effective ratio of gases in the MAP technology and a combination of food additives, considering the species composition of microorganisms and the conditions of a particular production. It should be particularly noted that in order to achieve maximum storage capacity of products using MAP, it is important to follow an integrated approach and take into account the most important factors influencing the successful implementation of the technology.

KEYWORDS

modified atmosphere packaging (MAP), minced pork meat, chilled semi-finished products, shelf life extension, microbiological and oxidative processes, quality indicators, lactic acid bacteria (ICD), *Brochothrix thermosphacta*, Lactic acid bacteria and their role in the meat processing



To cite: Stavtseva N.A., Bukhteeva Yu.M. (2024). The influence of the composition of gases in a modified atmosphere packaging on the storage capacity of minced pork. *Health, Food & Biotechnology*, 6(1), 23–30. <https://doi.org/10.36107/hfb.2024.i1.s194>

ВВЕДЕНИЕ

Социально-экономическое значение производства охлаждённых полуфабрикатов определяется тем, что оно позволяет выпускать продукты гарантированно высокого качества, отвечающие требованиям безопасности. С учетом фокуса экономического развития мясопереработки в России это направление открывает значительные перспективы для организации сбалансированного питания населения, позволяет решать вопросы рационального использования сырья, сокращает затраты труда на дальнейшее приготовление пищи. Производители заинтересованы в расширении производства и географии поставок продаж фаршей из свинины, но продукт имеет весьма ограниченный срок годности вследствие микробиологических и окислительных процессов, которые в свою очередь значительно влияют на хранимостпособность продукта. В настоящее время актуален вопрос продления сроков годности охлажденных рубленых полуфабрикатов, максимально сохранив начальное качество продукта.

Известно, что сроки годности охлажденного мяса в значительной мере зависят от интенсивности развития ферментов микроорганизмов. Нежелательные последствия для качества такой многокомпонентной системы, как мясо, имеют окислительные превращения липидов. Развитие окислительных процессов приводит к ухудшению органолептических показателей и образованию продуктов, вредных для здоровья человека, а соответственно к снижению биологической ценности.

В этой связи весьма актуальной является задача разработки технологии охлаждения и хранения мяса, обеспечивающей стабилизацию показателей его качества. Упаковка в модифицированную газовую среду (МГС) является одним из способов пролонгирования сроков годности охлажденных пищевых продуктов. Однако, показатели качества и хранимостпособность мясных продуктов в значительной мере зависят от видового состава микроорганизмов, а также от соотношения газов в составе МГС. Указанное обстоятельство определило цель данной работы: анализ влияния состава газов в модифицированной газовой среде на хранимостпособность охлажденных мясных фаршей.

Первые положительные эффекты при хранении пищевых продуктов в модифицированной газовой среде (МГС) с низким содержанием кислорода зарегистрированы во Франции в 1821. В 1970-х годах потребительские упаковки мясных продуктов в МГС начали поставлять в развивающийся новый формат магазинов самообслуживания. С тех пор внедрение технологии МГС получило широкий промышленный масштаб, поскольку требовались более совершенные формы упаковки мясных продуктов длительного хранения, герметично

упакованные и выставленные в холодильных витринах, в которых потребители могли самостоятельно выбирать продукт. Для демонстрации свежести красного сырого мяса была подобрана смесь газов O_2 и CO_2 , в которой мясо обретает ярко красный цвет. Потребители начали ассоциировать ярко-красный цвет мяса, расфасованного в полимерную упаковку, с его свежестью, потому, что именно такого цвета мясо впервые появилось на витринах самообслуживания. В России в промышленном масштабе технология упаковки в МГС применяется с 1997 года, когда компания КампоМос официально объявила, что 20 % колбасных изделий будут упакованы в газомодифицированной атмосфере.

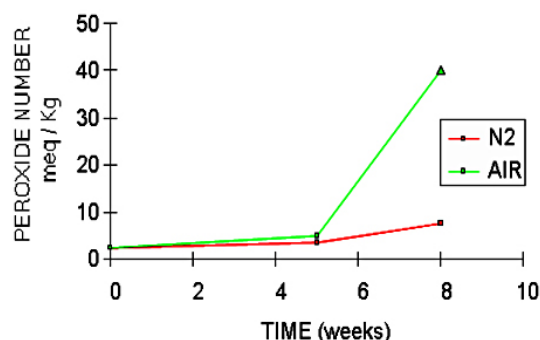
Принцип действия технологии МГС заключается в хранении пищевого продукта в специально подобранной смеси газов в герметичной полимерной упаковке. Для обеспечения сохранности продуктов используются три вида газа — азот, кислород и углекислый газ.

Азот N_2 — это инертный газ без вкуса и запаха, растворимость в воде и жирах низкая (Таблица 1). Азот оказывает незначительное бактериостатическое воздействие на микрофлору, но в среде азота слабо развиваются аэробные микроорганизмы. Функции азота в технологии упаковки в МГС: замещение кислорода из воздушной среды, предотвращение окислительных реакций, предотвращение роста аэробной микрофлоры, сохранение формы упаковки. Также азот оказывает ингибирующее воздействие на дыхание свежих овощей и фруктов (Рисунок 1). Код пищевой добавки E 941.

Кислород O_2 (газ без цвета, вкуса и запаха), является химически активным неметаллом и сильным окислителем. Кислород реакционноспособен, особенно при повышенных температурах; реагирует с большинством металлов и неметаллов, окисляет многие неорганические соединения. Функции кислорода в технологии упаковки в МГС: сохранение ярко красного цвета мяса, птицы, рыбы путем окисления миоглобина, предотвращение развития

Рисунок 1

Модифицированная среда и пищевые продукты (Aleman, 1989)



строغو анаэробных бактерий, обеспечение дыхания свежих овощей и фруктов. Код пищевой добавки Е 948.

Углекислый газ CO₂, газ без цвета, с легким кислым запахом, хорошо растворяется в воде и жирах. Реагирует с водой с образованием угольной кислоты, проявляет кислотные свойства, реагирует со щелочами, гидратом аммиака, восстанавливается активными металлами, водородом, углеродом. Функции углекислого газа в технологии упаковки в МГС: бактериостатическое и фунгистатическое воздействие на микроорганизмы. Предотвращение развития анаэробной и аэробной микрофлоры, понижение рН. Код пищевой добавки Е 290. Механизм бактериостатического воздействия: CO₂ вступает в реакцию с водой и проникает в клетку, способствует: образованию карбоновых соединений, изменению ферментов и белков в клетке, снижению мембранной и ферментативной активности и изменению физико-химического равновесия. В результате воздействия CO₂ происходит биохимическая модификация клетки и снижается ее бактериальная активность. Данные по определению растворимости газов в воде представлены в Таблице 1.

Таблица 1
Растворимость газов в воде (Лидин, 2000)¹

Растворимость в воде при давлении газа Р = 100 кПа грамм/кг при Т 15 °С	
Углекислый газ, CO ₂	1,97
Кислород	0,04
Азот	0,02

В зависимости от физико-химических свойств продукции и требований к органолептическим показателям подбирается состав газовой смеси для упаковки пищевого продукта. Обычно смеси состоят из двух компонентов – углекислого газа и азота или углекислого газа и кислорода.

Можно выделить следующие важные преимущества технологии упаковки в МГС:

- Значительное увеличение срока годности охлажденного продукта по сравнению с хранением в воздушной среде.
- Предотвращение в течение срока годности микробиологической порчи продукта.
- Сохранение формы, структуры и консистенции продукта.
- Сохранение органолептических показателей.

Используя технологию упаковки в МГС возможно исключить или значительно сократить применение химических консервантов и антиоксидантов, поскольку углекислый газ (CO₂) обладает консервирующим свойством, а азот (N₂) способствует предотвращению окислительных превращений в продукте.

На примере упаковки мясных продуктов разберем подробно все аспекты реализации технологии упаковки в МГС. Сроки годности мясных продуктов при хранении в МГС различного состава представлены в Таблице 2.

Таблица 2
Сроки годности мясных продуктов при хранении в МГС²

Продукт	Основные требования	Состав газовых смесей	Сроки годности
Говядина	Гигиена, Температура продукта до +4С, желательнее ниже до -1С	20–30 % CO ₂ в кислороде	До 20 суток
Свинина	Гигиена, Температура продукта до +4С, желательнее ниже до -1С	20–30 % CO ₂ в кислороде,	До 15 суток
		30–50 % CO ₂ в азоте*	До 30 суток
		100 % CO ₂	До 90 суток
Фарш (говядина, свинина)	Гигиена, Температура продукта до +4С, желательнее ниже до -1С	20–30 % CO ₂ в кислороде,	До 15 суток
		30–50 % CO ₂ в азоте *	До 20 суток
Субпродукты (печень, сердце, легкое и т.д.)	Гигиена, Температура продукта до +4С, желательнее ниже до -1С	20–30 % CO ₂ в кислороде,	До 10 суток
		30–50 % CO ₂ в азоте *	До 15 суток
Вареные колбасы и сосиски	Гигиена, Температура +4 – +6С	20–30 % CO ₂ в азоте	До 40 суток
Варено-копченые полу-копченые колбасы	Гигиена, Температура +4 – +6С	20–30 % CO ₂ в азоте	До 40 суток
Сырокопченые колбасы	Гигиена, Температура +4 – +6С	20–30 % CO ₂ в азоте	До 6 месяцев

Примечание. *цвет мяса не ярко-красный

¹ Лидин, Р. А., Молочко, В.А., & Андреева, Л. Л. (2000). *Химические свойства неорганических веществ*. Химия.
² Сроки годности мясных продуктов при хранении в МГС. https://www.vniimp.ru/netcat_files/366/497/h_757bfc18b44c4093b866b85629687524; https://www.rp.ru/pdf/indokor/posobie_MGS.pdf?ysclid=lv40bxom3d305443160

Мясные продукты можно разделить на 2 группы, которые мы рассмотрим в качестве объектов для технологии упаковки в МГС:

1 группа — это готовые к употреблению мясные продукты, которые прошли тепловую обработку (колбасные изделия различных типов — вареные, варено-копченые, сырокопченые; вареное или запечённое мясо, паштеты и т.д.) Упаковка в МГС готовых мясных продуктов хорошо изучена, широко и успешно применяется на практике в промышленном масштабе. Сроки годности готовой мясной продукции в МГС достаточно высокие. Безусловно есть вопросы, которые требуют особого подхода, например, достижение длительных сроков хранения вареных колбасных изделий в целлофановой оболочке по отношению к полиамидной. При хранении сосисок в полиамидной оболочке в МГС практически не выделяется влага, и продукция хранится дольше. В сосисках в целлофановой оболочке влага проникает через оболочку и в упаковке с МГС создаются условия, благоприятные для развития микрофлоры.

2 группа — охлажденные мясные полуфабрикаты. Условия хранения продукции в МГС, при которых возможно максимально сохранить качество продукта и продлить срок годности, изучаются во всем мире. Особенно актуальна проблема хранимостспособности охлажденных полуфабрикатов стоит в России.

В отличие от готовых мясных изделий полуфабрикаты не проходят тепловую обработку и снизить уровень контаминации продукта до упаковки нет возможности. Поэтому важно строго соблюдать все технологические требования: к качеству и характеру автолиза мясного сырья, показателям качества ингредиентов, к температурным режимам хранения сырья, к соблюдению санитарно-гигиенических требований на всех технологических этапах — обеспечению чистоты рабочих поверхностей, инвентаря, оборудования, воздуха, воды, правил работы персонала, применению СИЗов, дезинфекции и тд. Очень важно, и это подтверждено исследованиями ученых, чтобы на упаковку в МГС полуфабрикаты поступали с минимальным микробиологическим обсеменением.

В производственных условиях на мясоперерабатывающих предприятиях достичь идеального уровня чистоты невозможно, ученые постоянно разрабатывают и предлагают пути решения вопроса. Например, интересна одна из последних разработок российских ученых, состоящая в исследовании применения лазеров для обеззараживания поверхностей мясных полуфабрикатов. Учеными из Физического института имени П.Н. Лебедева РАН удалось «сварить» патогенные бактерии — золотистый стафилококк и синегнойную палочку — с помощью лазера среднего инфракрасного диапазона (Kompanets, Kudryashov & Totordava, 2021; 2023).

Эксперимент показал, что свет этой длины волны разрывает водородные связи в молекулах белков и нуклеиновых кислот, так что бактерия теряет активность и способность к размножению. Этот способ обеззараживания может стать удобным вариантом для быстрой бесконтактной стерилизации продуктов, дезинфекции на пищевых производствах.

В работе показано, как на практике воздействует на бактерии лазерное излучение среднего инфракрасного диапазона с длинами волны три и шесть микрометров. Результаты исследований ученых из лаборатории лазерной нанофизики и биомедицины ФИАН свидетельствуют о том, что в клетке возникают резонансные колебания молекулярных связей в основных элементах структуры клетки: в С (углерод) — N (азот) связях белков и нуклеиновых кислот при воздействии излучением с длиной волны шесть микрон и С (углерод) — Н (водород) связях углеродного скелета — под действием излучения три микрометра. (Shelygina & Saraeva, 2023).

Также важно понимать, что технология МГС оказывает воздействие на отдельные виды микроорганизмов. Данные представлены в Таблице 3.

Таблица 3

Влияние CO₂ на группы микроорганизмов (Caleb & Mahajan 2012)

Название микроорганизмов	Взаимодействие с CO ₂
Brochotrix thermosphacta	Некоторые штаммы не чувствительны к CO ₂
Pseudomonas	Препятствует росту
Achromobacter	Препятствует росту
Lactobacilles	Некоторые штаммы не чувствительны к CO ₂
Плесени	Препятствует росту
Дрожжи	Менее чувствительны к CO ₂ , чем плесени
Bacillus cereus	Препятствует росту
Clostridium botulinum	Не чувствительны к CO ₂

Исследовательские работы по определению зависимости развития микроорганизмов в фаршах из свинины от условий хранения и типа упаковки были проведены на кафедре фундаментальных и прикладных исследований пищевых продуктов (FARAH), факультете ветеринарной медицины Льежского университета (Cauchie et al., 2020).

В результате проведенных работ доказано, что наиболее важными факторами, влияющими на динамику разви-

тия микроорганизмов на поверхности продукта, являются состав газовой смеси в упаковке и температурный режим хранения, а также выявлена тенденция роста бактерий *Pseudomonas* в упаковках с воздушной средой и *Brochothrix thermosphacta* в упаковках с МГС.

В энциклопедии микробиологии (издание 4) Мичиганского университета³ указано, что *Brochothrix thermosphacta* может составлять доминирующую часть микрофлоры охлажденного мяса и мясopодуктов при хранении на воздухе, под вакуумом или на мясе с нормальным pH, которое хранится в атмосфере с высоким содержанием кислорода в составе МГС. Однако, они составляют незначительную часть микрофлоры этих продуктов при хранении при 100 %-ном содержании CO₂ или при использовании смешанной атмосферы CO₂–N₂ для упаковки мясных продуктов.

Отдельное внимание стоит уделить молочнокислым бактериям. Этому вопросу посвящены исследования российских и международных ученых. Было установлено, что некоторые штаммы молочнокислых бактерий начинают активно развиваться в МГС.

Ученые Научно-исследовательского Университета фармацевтики и Ветеринарии в г. Брно (Kameník & Dušková, 2016) выявили и доказали, что при упаковке сырого мяса (свинины, говядины) в вакуумной упаковке наблюдается рост молочнокислых бактерий (МКБ). В упаковках в МГС интенсивность роста количества МКБ ниже по сравнению с вакуумной или скин-упаковке. Начиная с 14 суток хранения продукции популяции МКБ в вакуумной упаковке были на 2 log10 больше чем в МГС.

При этом было определено, что наиболее часто встречались МКБ рода *Leuconostoc* (*Leuc. carnosum*, *Leuc. Mesenteroides* и *Leuc. gelidum*), которая диагностировалась при сборе проб из производственной среды.

МГС влияет на интенсивность развития микрофлоры на поверхности продукта. Как было сказано ранее углекислый газ оказывает бактериостатическое воздействие на развитие многих штаммов микроорганизмов, снижая активность биологических клеток. Чем меньше количество патогенной микрофлоры на поверхности продукта, тем эффективнее воздействие CO₂.

Важно понимать, что набор патогенной микрофлоры в большинстве случаев попадает на поверхность мяса из окружающей среды в процессе первичной и глубокой переработки, что и было выявлено в исследовательских работах университета Брно. Тогда можно утверждать, что, если условия окружающей среды будут строго контролироваться, снизится уровень контаминации про-

дукта до упаковки и он будет более длительное время сохранять высокие показатели качества в упаковке.

Singh (2018) отмечает, что некоторые виды молочнокислых бактерий предотвращают развитие патогенной микрофлоры и тем самым оказывают защитное действие. Учеными было доказано, что к порче продукта приводит не большое наличие лактобактерий, а их внутривидовая изменчивость и последующее негативное влияние некоторых штаммов на качество продукта.

Исследование взаимодействия МГС и различных штаммов лактобактерий на показатели качества свинины провели ученые Финского университета (Nieminen et al., 2015). Цель их исследования заключалась в изучении влияния различных газовых сред на развитие молочнокислых бактерий при внесении в сырую свиную корейку 14 штаммов молочнокислых бактерий (МКБ) и упаковки в газовые среды 100 % CO₂, 80 % N₂ 20 % CO₂ и 80 % O₂, 20 % CO₂ при T хранения +6С.

На 14 сутки хранения были получены следующие результаты:

- в смеси 100 % CO₂ наблюдался рост *Lactobacillus* sp,
- в смеси 80 % N₂, 20 % CO₂ — соответственно *Lactococcus* sp.
- в смеси в смеси 80 % O₂, 20 % CO₂ — *Leuconostoc*.

Таким образом, как указывалось выше, проведенные исследования доказали целесообразность применения МГС при хранении пищевых продуктов. Однако, сведения, касающиеся влияния соотношения газов в модифицированной газовой среде на хранимостпособность фаршей из свинины, весьма ограничены. Указанное обстоятельство определило актуальность проведения дальнейших исследований.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Объектом нашего исследования послужили фарши из свинины, значение pH мясного сырья составляло 5,7. Образцы фаршей упаковывали в лотки (материал полипропилен/полиэтилен), толщина лотка составляла 700 мк, верхняя пленка (полиэтилентрифтолат/полиэтилен) толщина пленки 50 мк. Использовали упаковочное оборудование — Трейсилер (запайщик лотков) FoodPack 1440, производитель компания ILPRA. Газовые баллоны емкостью 50 л с пищевыми газовыми смесями 30 % CO₂, 70 % N₂ и 30 % CO₂, 70 % O₂ подключали к упаковочному оборудованию. Упакованные образцы хранили в охлажденном состоянии. Контроль состава газовой смеси и органолептических показателей фаршей осуществляли на 9, 12 и 16 сутки хранения.

³ Schmidt, T. M. (2019). Schmidt-Encyclopedia of Microbiology.Elsevier Science

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

На первом этапе исследования проводилось изучение барьерных свойств упаковки. Тестировалась упаковка без фарша, но с наличием МГС по индикаторам CO_2 и O_2 . Тестирование проводилось газоанализатором WITT Oxy Baby. Результаты проведенных исследований представлены в Таблице 4.

Таблица 4

Состав газовой смеси в упаковке без фарша в процессе хранения

Упаковка без фарша	0 сутки		9 сутки		12 сутки		16 сутки	
	O_2 %	CO_2 %	O_2 %	CO_2 %	O_2 %	CO_2 %	O_2 %	CO_2 %
30 % CO_2 , 70 % N_2	1,2	29	1,8	28	2,5	26	2,8	25
30 % CO_2 , 70 % O_2	70	27	69	27	68	26	68	25

Установлено, что на 16 сутки хранения в упаковках с газовой смесью 30 % CO_2 70 % N_2 содержание массовой доли O_2 повышается на 1,6 %, а CO_2 понижается на 4 %. В газовой смеси 30 % CO_2 70 % O_2 массовая доля O_2 снижается на 2 %, CO_2 на 2 %.

Полученные данные свидетельствуют о том, что изменения состава газовой смеси незначительны. Таким образом, тестируемая упаковка обладает достаточными барьерными свойствами по газопроницаемости.

Программой дальнейших исследований предусматривалось определение изменения микробиологических и показателей фаршей в зависимости от состава газовой смеси. Результаты представлены в Таблице 5.

Установлено, что в газовой смеси 30 % CO_2 70 % N_2 на 16 сутки хранения показатели КМАФАМ и МКБ соответствуют свежему мясу, а в газовой смеси 30 % CO_2 70 % O_2 на 16 сутки КМАФАМ и МКБ превышали допустимую норму. Таким образом можно заключить, что состав газовой смеси 30 % CO_2 70 % O_2 не обладает достаточным бактериостатическим действием на исследуемые образцы фаршей из свинины.

Данные микробиологического анализа согласуются с результатами определения органолептических характеристик фаршей и внешнего вида упаковки в зависимости от состава газовой смеси. Результаты представлены в Таблице 6.

Результаты проведенных исследований свидетельствуют о том, что в фарше в газовой смеси 30 % CO_2 , 70 % O_2 ,

Таблица 5

Микробиологические показатели фаршей и состав газовой среды

Состав газовой смеси	0 сутки (фон)		9 сутки		12 сутки		16 сутки	
	КМАФАМ, КОЕ/г	МКБ	КМАФАМ, КОЕ/г	МКБ	КМАФАМ, КОЕ/г	МКБ	КМАФАМ, КОЕ/г	МКБ
30 % CO_2 70 % O_2	$1,5 \times 10^5$	$2,1 \times 10^5$	5×10^5	$3,5 \times 10^5$	$2,3 \times 10^6$	$>4,9 \times 10^5$	$3,7 \times 10^7$	$>4,9 \times 10^5$
30 % CO_2 70 % N_2	$3,7 \times 10^5$	$1,2 \times 10^5$	$3,5 \times 10^5$	$3,2 \times 10^5$	$3,2 \times 10^5$	$2,5 \times 10^5$	$3,3 \times 10^5$	$1,5 \times 10^5$

Таблица 6

Органолептические показатели фаршей и состав газовой среды

Упаковки с фаршами	0 сутки		Органолептика	9 сутки		Органолептика	12 сутки		Органолептика	16 сутки		Органолептика
	O_2 %	CO_2 %		O_2 %	CO_2 %		O_2 %	CO_2 %		O_2 %	CO_2 %	
30 % CO_2 , 70 % N_2	1,2	25	Соотв. свежему мясу	0	15	Соотв. свежему мясу	0	15	Немного кисловатый запах	0	14,5	Немного кисловатый запах
30 % CO_2 , 70 % O_2	69	25,4	Соотв. свежему мясу	64	18,5	Запах, внешний вид мяса сомнительной свежести	54,3	18,7	Запах, внешний вид мяса сомнительной свежести	37	23,5	Запах, изменение цвета — признаки несвежего мяса

начиная уже с 9 суток хранения, фиксировался запах, присущий несвежему мясу. Особо следует отметить, что на 12 сутки хранения наблюдается сильная деформация упаковки.

Хранение фарша в МГС 30 % CO₂, 70 % N₂ в течение первых 12 суток не повлияло на изменение запаха. Упаковка с фаршем сохранила форму до 16 суток.

Однако приходится констатировать, что цвет фарша в газовой смеси 30 % CO₂, 70 % N₂ после упаковки начал изменяться по причине отсутствия кислорода, который необходим для окисления миоглобина мяса. Указанный эффект можно нивелировать за счет использования пищевых добавок.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На основании проведенного анализа литературных данных и собственных исследований установлено, что для обеспечения длительного срока годности охлажденного мяса необходимо подбирать эффективное соотношение газов в составе МГС и комбинации пищевых добавок, учитывая видовой состав микроорганизмов и условия конкретного производства. Следует особо отметить, что для достижения максимальной хранимостспособности продукции с применением технологии упаковки в МГС важно соблюдать комплексный подход и учиты-

вать важнейшие факторы, влияющие на успешную реализацию технологии: высокое качества сырья, характер его автолиза, минимальную микробиологическую контаминацию продукта до упаковки, строгое соблюдение санитарно-гигиенических норм и правил, и температурных режимов.

ВКЛАД АВТОРОВ:

Бухтеева Ю.М.: концептуализация, формулирование идеи; формулирование исследовательских целей и задач; разработка методологии исследования; создание модели исследования; подготовка и создание рукописи, ее комментирование и пересмотр, включая этапы до или после публикации рукописи; надзор и руководство за планированием и выполнением исследовательской деятельности, включая наставничество.

Ставцева Н.А.: изучение и анализ материалов российских и европейских ученых, проведение исследования, в частности, проведение экспериментов и микробиологических исследований; предоставление сырья и материалов для исследования, приборов для анализа материалов или других инструментов анализа; подготовка и создание черновика рукописи, в частности написание первоначального текста рукописи; визуализация/представление данных.

ЛИТЕРАТУРА

- Cauchie, E., Delhalle, L., Taminiau, B., Tahiri, A., Korsak, N., Burteau, S., Fall, P. A., Farnir, F., Baré, G., & Daube, G. (2020). Assessment of Spoilage Bacterial Communities in Food Wrap and Modified Atmospheres-Packed Minced Pork Meat Samples by 16S rDNA Metagenetic Analysis. *Frontiers in Microbiology*, 10, 3074. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2019.03074>
- Caleb, O. J., Mahajan, P. V., Al-Said, F. A., & Opara, U. L. (2013). Modified Atmosphere Packaging Technology of Fresh and Fresh-cut Produce and the Microbial Consequences-A Review. *Food and Bioprocess Technology*, 6(2), 303–329. <https://doi.org/10.1007/s11947-012-0932-4>
- Drulhe Aleman, E. (1989). *Modified Atmospheres and Foodstuff Products. Packaging in an MA*. Apria
- Kameník J., & Dušková M. (2016). Lactic acid bacteria and their role in the meat processing. *Theory and Practice of Meat Processing*, 1(1), 25–31. <https://doi.org/10.21323/2114-441X-2016-1-25-31>
- Kompanets, V. O., Kudryashov, S. I., Totordava, E. R., Shelygina, S. N., Sokolova, V. V., Saraeva, I. N., Kovalev, M. S., Ionin, A. A., & Chekalin, S. V. (2021). Femtosecond infrared laser spectroscopy of characteristic molecular vibrations in bacteria in the 6-μm spectral range. *JETP Letters*, 113, 365–369 <https://doi.org/10.1134/S0021364021060060>
- Nieminen, T. T., Nummela, M., & Björkroth, J. (2015). Packaging gas selects lactic acid bacterial communities on raw pork. *Journal of Applied Microbiology*, 119(5), 1310–1316. <https://doi.org/10.1111/jam.12890>
- Saraeva, I., Tolordava, E., Sheligyna, S., Nastulyavichus, A., Khmel'nitskii, R., Pokryshkin, N., Khmelenin, D., Kudryashov, S., Ionin, A., & Akhmatkhanov, A. (2023). FT-IR Analysis of *P. aeruginosa* Bacteria Inactivation by Femtosecond IR Laser Radiation. *International Journal of Molecular Sciences*, 24(6), 5119. <https://doi.org/10.3390/ijms24065119>
- Shelygina, S. N., Saraeva, I. N., Tolordava, E. R., Nastulyavichus, A. A., & Kudryashov, S. I. (2023). Infrared laser inactivation of pathogenic bacteria through a polyethylene film. *Bulletin of the Lebedev Physics Institute*, 50, 434–437. <https://doi.org/10.3103/S1068335623100081>
- Singh V. P. (2018). Recent approaches in food bio-preservation – a review. *Open Veterinary Journal*, 8(1), 104–111. <https://doi.org/10.4314/ovj.v8i1.16>

<https://doi.org/10.36107/hfb.2024.i1.s207>

УДК 637.04

Линейка кисломолочных продуктов «Бета-ОН» функциональной направленности

О. В. Сычева, Е. А. Скорбина, И. А. Трубина

Ставропольский государственный аграрный университет,
Ставрополь, Россия

Корреспонденция:

Сычева Ольга Владимировна,
Ставропольский государственный аграрный университет,
355017, Россия, г.Ставрополь,
пер.Зоотехнический, 12.
E-mail: olga-sycheva@mail.ru

Конфликт интересов:

авторы сообщают об отсутствии конфликта интересов.

Поступила: 18.03.2024

Поступила после

рецензирования: 28.04.2024

Принята: 07.05.2024

Copyright: © 2024 Авторы

АННОТАЦИЯ

Введение. В связи с возрастающим спросом на производство продуктов питания функциональной направленности в нашей стране и за рубежом ведется разработка новых видов таких продуктов, а также поиск ингредиентов, обладающих функциональными свойствами. К числу таких ингредиентов относится бетаин — триметиламиноуксусная кислота. Одним из потенциальных источников натурального бетаина является корнеплод — свекла.

Цель. Целью исследования явилась разработка технологии и рецептуры кисломолочных продуктов — йогурта и творога, обогащенных бетаинсодержащими ингредиентами с целью придания им функциональных свойств.

Материалы и методы. В качестве обогатителей использовали свежавыжатый свекольный сок, пищевую добавку «Бетаин безводный», и ферментный препарат «Ацидин-пепсин», содержащий 80 % бетаина гидрохлорида.

Результаты. Отработана рецептура и технологические параметры выработки этих продуктов, причем ферментный препарат «Ацидин-пепсин» использован взамен молокосвертывающего фермента при получении творога кислотно-сычужным способом. Экспертиза качества и органолептическая оценка полученных продуктов показала соответствие экспериментальных образцов требованиям соответствующих стандартов.

Выводы. Таким образом, доказана возможность использования в качестве функциональных ингредиентов свекольного сока и бетаина в технологии кисломолочных напитков и творога, представляющих линейку продуктов «Бета-ОН», обогащенных бетаинсодержащими компонентами.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА

функциональное питание; творог; напитки кисломолочные; свекольный сок; бетаин; ацидин-пепсин



Для цитирования: Сычева, О. В., Скорбина, Е. А., & Трубина, И. А. (2024). Линейка кисломолочных продуктов «Бета-ОН» функциональной направленности. *Health, Food & Biotechnology*, 6(1), 31–39. <https://doi.org/10.36107/hfb.2024.i1.s207>

<https://doi.org/10.36107/hfb.2024.il.s207>

The Line of Functionally Oriented Fermented Dairy Products "Beta-ON"

Olga V. Sycheva, Elena A. Skorbina, Irina A. Trubina

Stavropol State Agrarian University,
Stavropol, Russia

Correspondence:

Olga V. Sycheva,
Stavropol State Agrarian University,
12, Zootekhnikheskiy lane, Stavropol,
355017, Russia
E-mail: olga-sycheva@mail.ru

Declaration of competing interest:
none declared.

Received: 18.03.2024

Received in revised form: 28.04.2024

Accepted: 07.05.2024

Copyright: © 2024 The Authors

ABSTRACT

Introduction. Due to the increasing demand for the production of functional food products in our country and abroad, new types of such products are being developed, as well as the search for ingredients with functional properties. Such ingredients include betaine trimethylaminoacetic acid. One of the potential sources of natural betaine is the beetroot.

Purpose. The aim of the study was to develop the technology and formulation of fermented dairy products of yogurt and curd enriched with betaine-containing ingredients in order to give them functional properties.

Materials and Methods. Freshly squeezed beet juice, the food additive "Betaine anhydrous", and the enzyme preparation Acidin-pepsin, containing 80% betaine hydrochloride.

Results. The formulation and technological parameters of the production of these products have been worked out, and the enzyme preparation Acidin-pepsin is used instead of the milk-converting enzyme in the production of curd by the acid-rennet method. The quality examination and organoleptic evaluation of the products obtained showed that the experimental samples met the requirements of the relevant standards. Conclusions. Thus, the possibility of using beetroot juice and betaine as functional ingredients in the technology of fermented milk drinks and cottage cheese, representing the Beta-ONE product line enriched with betaine-containing components, has been proven.

KEYWORDS

functional nutrition; curd; fermented milk drinks; beet juice; betaine; acidin-pepsin



To cite: Sycheva, O. V., Skorbina, E. A., & Trubina, I. A. (2024). The line of functionally oriented fermented dairy products "Beta-ON". *Health, Food & Biotechnology*, 6(1), 31–39. <https://doi.org/10.36107/hfb.2024.il.s207>

ВВЕДЕНИЕ

Одним из приоритетов государственной политики является здоровьесбережение народа. В этой связи важно не только качественное медицинское обслуживание, но и правильное здоровое питание. Огромная роль в профилактике и лечении заболеваний принадлежит питанию. Сегодня недостаточно обеспечить набор пищевых веществ в продуктах питания, помимо этого желательно обогатить эти продукты необходимыми эссенциальными элементами. Поэтому совместными усилиями врачей, диетологов и технологов пищевой промышленности, наряду с учеными ведется создание новых специализированных пищевых продуктов для полноценного здорового питания (Платонов & Чернов, 2019). В настоящее время рынок функциональных продуктов питания находится на подъеме, как в мире, так и в России (Кайшев & Серёгин, 2018; Кайшев., 2020). Отличие функциональных продуктов питания от традиционных, заключается в том, что они способны обеспечить не только нормальное течение жизнедеятельности человека, но и оказать положительное влияние на функционирование отдельных органов и систем организма. Это объясняется тем, что в составе данных продуктов содержится повышенное количество минеральных компонентов: минеральных веществ в виде макро- и микроэлементов, витаминов, антиоксидантов и ряда других ингредиентов. Производство таких продуктов в перспективе заменит (или дополнит) большинство традиционных блюд и продуктов. Поэтому развитие данного направления пищевой индустрии имеет огромное значение (Асякина и соавт., 2022). При этом основой для производства функциональных продуктов являются традиционные и производные продукты массового потребления.

Молочные продукты заслуженно считаются универсальными продуктами питания, удовлетворяющим практически все основные потребности организма. Особое место в рационе питания принадлежит кисломолочным продуктам, обеспечивающим не только потребности в пищевых веществах, но и способствующим повышению здоровья организма и иммунного статуса. Среди них лидирующее положение на рынке занимает йогурт. Йогурт, благодаря закваске, состоящей из пробиотических культур термофильного стрептококка и болгарской палочки, формирующей его органолептические характеристики, обладает многими, полезными для организма человека, свойствами. Популярность йогурта объясняется еще одним немаловажным фактором. Как ни один другой кисломолочный продукт он отличается разнообразием наполнителей, что очень привлекает потребителей. Он также является наиболее удобной формой потребления молочного продукта в наши дни, благодаря широкому разнообразию потребительской упаковки (Ткачева & Елисеева, 2022).

В последние годы проявляется активный интерес к возможности использования бетаина в качестве такого компонента питания, который позволяет оказывать положительное влияние на повышение уровня физической активности человека, в частности, спортивных результатов атлетов (Штерман и соавт., 2022). Бетин — триметиламиноуксусная кислота (содержится в сахарной свёкле до 5 %). Он активно участвует в белковом обмене, способствует укреплению капилляров, снижает уровень холестерина в крови, оказывает гипотензивное действие в организме человека и животных.

В официальной медицине препараты, содержащие бетин, позиционируются, как гиполипидемическое средство, поэтому они используются в комплексной терапии заболеваний (особенно сердечно-сосудистой системы), сопровождающихся или обусловленных нарушениями липидного обмена (Полонский, 2020). Защитное действие бетаина на сердечно-сосудистую систему обусловлено уменьшением циркуляции гомоцистеина крови. Кроме того, бетин поддерживает работу печени, выводя токсические вещества и липиды, препятствующие нормальной работе (Котвицкая & Анискина, 2020).

Для проявления функционального действия на организм человека суточная норма бетаина должна достигать 1500 мг, однако реальное потребление бетаина с пищевыми продуктами намного ниже. Особую группу риска составляют люди пожилого возраста, а также больные диабетом и гомоцистинурией. У них отмечается выраженный дефицит бетаина. Им, в первую очередь, необходимо увеличивать потребление бетаина, в том числе и за счет употребления продуктов питания, обогащенных им. Поэтому желательно включение продуктов, обогащенных бетином, в ежедневный рацион питания населения (Figuerola-Soto & Valenzuela-Soto, 2018).

Корнеплод — свекла (*Beta*) является одним из потенциальных источников натурального бетаина. В медицине свекла, как лечебное средство, специально не используется. Однако, благодаря наличию выраженных антиоксидантных свойств, блюда из свеклы и отвары из свекольной ботвы назначаются в вспомогательной терапии при лечении заболеваний сердца и анемиях. Беталаины, которые содержатся в свекле, обладают антиоксидантными, противоопухолевыми, гипогликемическими, гиполипидемическими свойствами. Также, благодаря наличию нитратов, потребление свекольного сока помогает адаптации к условиям высокогорной гипоксии (Кароматов & Абдувохидов, 2019).

Учитывая множество полезных свойств корнеплода, свеклу достаточно широко применяют при производстве пищевых функциональных продуктов. Особой популярностью пользуется пигмент свеклы — бетанин, который используется в качестве натурального кра-

сителя для придания яркого розово-малинового цвета многим продуктам, в числе которых экструдированные фрукты и овощи, сухие зерновые завтраки, йогурты, творожные пасты и суфле (Анистратова и соавт., 2019). Однако при производстве десертных кисломолочных продуктов не отмечено применение свеклы в, каком бы то ни было, виде.

Целью исследования явилась разработка технологии и рецептуры кисломолочных продуктов – йогурта и творога, обогащенных бетаинсодержащими ингредиентами, с целью придания им функциональных свойств.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

В качестве продукта питания для обогащения бетаинсодержащими ингредиентами выбраны два кисломолочных продукта: йогурт и творог, как наиболее популярные у потребителей. На схеме исследований (Рисунок 1) отражены этапы проведения теоретических и экспериментальных видов работ.

Экспериментальные исследования по отработке рецептур и технологических параметров выработки и изучения качественных показателей опытных образцов проводили на базе производственно-технологической лаборатории по переработке молока кафедры технологии производства и переработки сельскохозяйственной продукции ФГБОУ ВО Ставропольского ГАУ.

Для выработок использовали молоко, соответствующее требованием ГОСТ 31449–2013 «Молоко коровье сырое. Технические условия»¹

Рисунок 1
Схема проведения исследований



Рисунок 2
Пищевая добавка «Бетаин»



Рисунок 3
Ацидин-пепсин



В качестве обогатителей использовали свежавыжатый свекольный сок, полученный из столовой свеклы сорта «Бордо», выращенной в Ставропольском крае (Таблица 1), пищевую добавку «Бетаин безводный», представляющую собой белый кристаллический порошок с содержанием бетаина 98% (Рисунок 2, Таблица 2) и ферментный препарат «Ацидин-пепсин» (Рисунок 3).

Таблица 1
Химический состав образцов свеклы столовой

Сорт	Сухое вещество, %	Сахара, %	Бетанин, мг	Аскорбиновая кислота, мг
Бордо односемянная	16,4	13,9	126	6,5
Бордо 237	16,2	13,5	184	7,0

По данным Таблицы 1 можно судить о том, что в свекле наряду с высоким содержанием сухого вещества, отмечена высокая массовая доля сахаров и красящего пигмента бетанина.

В одной таблетке (250 мг) препарата ацидин-пепсин содержится 80 % бетаина гидрохлорида (200 мг) и 0,5 мг свиного пепсина (в пересчете на 100 % пепсин). Вспомогательные вещества: повидон К-25, кремния диоксид коллоидный, кальция стеарат, сорбит (Е 420).

¹ ГОСТ 31449-2013 (2019). Молоко коровье сырое. Технические условия. Стандартинформ.

Таблица 2

Основные показатели пищевой добавки «Бетаин безводный»²

Наименование	Нормативные требования	Фактически
Бетаин безводный	Белый или желтоватый кристалл или кристаллический порошок	Белый кристаллический порошок
Анализ (C ₅ H ₁₁ NO ₂), %	≥ 98,0	98,26
Убыль от высыхания, %	≤ 1,0	0,4
Тяжелые металлы (Pb), %	≤ 0,001	<>
РН безводного препарата	5–7	6,3
Остаток при сгорании, %	≤ 0,5	Соответствует
Мышьяк (As), %	≤ 0,0001	Соответствует
Хлорид, %	≤ 0,1	Соответствует

Свеклу, как сырую, так и термообработанную перед извлечением сока подвергали предварительным подготовительным операциям: мойке и удалению дефек-

тов (зачистке) корнеплодов. Термообработка свеклы заключалась в бланшировании корнеплодов в течение 20 минут кипящей водой.

В основу отработки рецептуры йогурта с использованием свекольного сока и пищевой добавки «Бетаин безводный» были положены органолептические показатели: внешний вид, цвет, консистенция, вкус и запах. Количество свекольного сока в рецептуре варьировало от 5,0 до 10,0 процентов, бетаин вносили в количестве 0,5–1,5%, чтобы в продукте присутствовала рекомендуемая суточная норма – 1500 мг/сут. (Figueroa-Soto & Valenzuela-Soto, 2018). Рецептура контрольного и опытных образцов йогурта (Таблица 3) имела отличия по количеству вносимых функциональных ингредиентов – бетаина и свекольного сока и вкусовых веществ – сахарозы и поваренной соли.

Дегустационная оценка готовых продуктов определена профильным методом по 5-ти бальной шкале.

Выработка йогуртов с применением свекольного сока и бетаина проводилась по традиционной технологии (блок-схема – Рисунок 4).

Таблица 3

Рецептура йогурта, обогащенного функциональными ингредиентами, %

Компоненты	Контроль 1	Образец 2	Образец 3	Образец 4	Образец 5
Молоко	95,0	94,0	93,0	82,9	82,9
Закваска	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0
Бетаин	–	1,0	1,0	–	1,0
Сахар белый	–	–	1,0	4,0	3,0
Соль поваренная	–	–	–	0,1	0,1
Свекольный сок	–	–	–	8,0	8,0
Итого	100	100	100	100	100

Рисунок 4

Блок-схема производства йогурта с наполнителем



² Данные фирмы-изготовителя

Рисунок 5
Блок-схема производства творога кислотно-сычужным способом



Технологический процесс производства творога, обогащенного бетаином, предусматривает проведение всех основных этапов выработки данного вида продукта кислотно-сычужным методом (Рисунок 5).

Однако в подготовленное к свертыванию молоко вносятся взамен молокосвертывающего фермента³ адекватное количество препарата ацидин-пепсин. Препарат ацидин-пепсин вносится из расчета 5 г на 100 кг молока. Все остальные параметры технологического процесса производства творога кислотно-сычужным способом остаются неизменными⁴.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Для определения влияния способов предварительной обработки свеклы на качество извлекаемого красителя исследовали сок из свежей свеклы и свеклы, подвергнутой тепловой обработке. Данные исследования представлены в Таблице 4.

Так как в соке сырой свеклы присутствуют нативные ферменты, то количество красящих пигментов в соке

быстро уменьшается, и он приобретает бурый оттенок даже при непродолжительном хранении. Также бетаиновые пигменты свеклы легко разрушаются при нагревании, однако повысить их термостойкость можно путем снижения pH, используя различные подкислители.

Исходя из того, что в процессе сквашивания происходит естественное снижение pH за счет образующейся молочной кислоты, правомерно предположить, что произойдет стабилизация окраски.

Технологическим этапом внесения в молоко свекольного сока и бетаина согласно рецептуре является этап — перед пастеризацией. Для заквашивания применялась традиционная закваска для йогурта, состоящая из пробиотических культур термофильного стрептококка и болгарской палочки в количестве 5%. Сквашивание проходило до образования сгустка с кислотностью 75–85°T. Время сквашивания — около 6 часов при температуре 36–40°C.

Результат органолептической оценки экспериментальных образцов йогурта с добавлением свекольного сока и бетаина представлен в Таблице 5.

Таблица 4
Показатели сока, извлеченного из свежей и термообработанной свеклы

Способ обработки свеклы	Выход сока, %	Массовая доля СВ, %	Содержание красящих веществ, %	Содержание пектиновых веществ, %	Выход красящих веществ, %
Сырая неочищенная	43,00	12,80	1,31	0,84	8,87
Термообработанная очищенная	56,00	11,90	1,12	1,65	8,71

³ Доза молокосвертывающего фермента 1 г на 1000 кг молока
⁴ Сычева, О. В., Олейник, С. А., Скорбина, Е. А., Трубина, И. А., Агаджанова, С. М., Черкашина, Г. А. (2023). Способ получения обогащенного творога функциональной направленности. Патент на изобретение. 2802075 C1, 22.08.2023.

Таблица 5
Характеристика органолептических показателей йогурта с добавлением свекольного сока и бетаина

Показатель	По ГОСТ 31981–2013 ⁵	Фактически
Внешний вид и консистенция	Однородная, с нарушенным сгустком при резервуарном способе производства, с ненарушенным сгустком – при термостатном способе производства, в меру вязкая, при добавлении загустителей или стабилизирующих добавок – желеобразная или кремообразная.	Однородная, с ненарушенным сгустком, в меру вязкая
Вкус и запах	Чистые, кисломолочные, без посторонних привкусов и запахов, в меру сладкий вкус (при выработке с подслащивающими компонентами), с соответствующим вкусом и ароматом внесенных компонентов	Чистые, кисломолочные, без посторонних привкусов и запахов, в меру сладкий вкус (для образцов 1 и 2) и вкусом и легким запахом свеклы (для образцов 3–5)
Цвет	Молочно-белый или обусловленный цветом внесенных компонентов, однородный или с вкраплениями нерастворимых частиц	Молочно-белый (для образцов 1 и 2) или розовый (для образцов 3–5)

Экспериментальные образцы йогурта имели достаточно плотную консистенцию, а также внешний вид и цвет, соответствующий виду и окраске используемого наполнителя. При включении в рецептуру свекольного сока и бетаина внешний вид и консистенция не отличаются от контрольного образца, приготовленного без добавок.

Результат дегустационной оценки экспериментальных образцов йогурта на основании профильного метода (Рисунок 5) показал близкие баллы по сравнению с контрольным образцом.

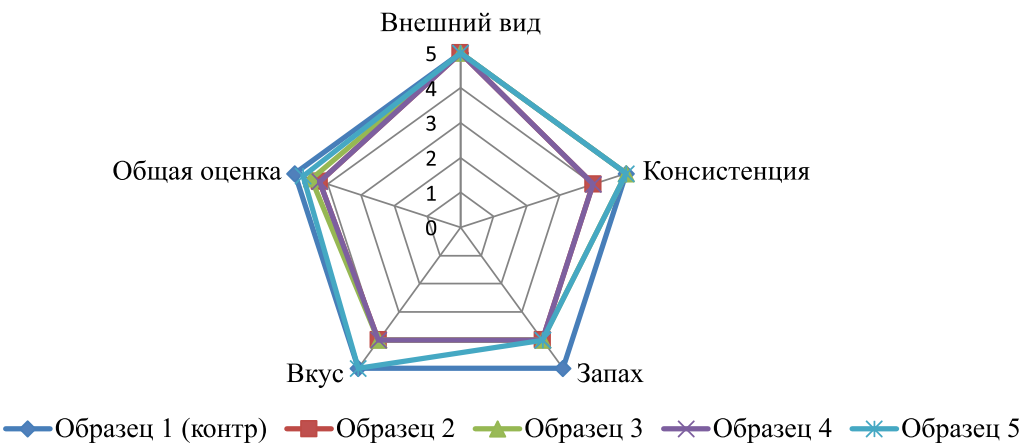
Поэтому можно сделать вывод, что по органолептическим показателям йогурт с добавлением свекольного сока и бетаина соответствовал требованиям, предъявляемым ГОСТ 31981–2013. Йогурты. Общие технические условия.

Технологические параметры выработки творога кислотнo-сычужным способом соответствовали общепринятым, за исключением того, что взамен молокосвертывающего фермента при производстве творога вносится препарат ацидин-пепсин. Этот прием направлен на обогащение готового продукта – творога антиоксидантной пищевой добавкой бетаин, входящей в состав этого препарата.

Выход творога из 100 кг молока составляет 30,0–30,5 кг. Титруемая кислотность после охлаждения находится в пределах 180–200°Т, влажность составляет около 73%.

Физико-химические показатели получаемого продукта в сравнении с традиционным творогом 9%-ной жирности, представлены в Таблице 6.

Рисунок 5
Профиль органолептической оценки качества йогуртов



⁵ ГОСТ 31981–2013 (2019). Йогурты. Общие технические условия. Стандартинформ.

Таблица 6
Пищевая ценность обогащенного и традиционного творога, г в 100 г

Продукт	Влага	Белок	Жир	Пищевые волокна		Бетаин, мг	Зола
				Нераств.	Раств.		
Творог обогащенный	73,2	11,8	9,5	1,0	0,4	6,3	0,84
Творог (традиционный)	71,2	13,7	9,4	—	—	—	0,88

Полученный творог имел мягкую, мажущуюся консистенцию с наличием или без ощутимых частиц молочного белка, чистый кисломолочный вкус и запах, белый или с кремовым оттенком цвет.

В порции творога 250 г содержание бетаина составляет 15,75 мг, что составляет всего 3,5% от рекомендуемой суточной нормы потребления бетаина. Поэтому данный продукт нельзя назвать функциональным, так как он не обеспечивает 15% суточной нормы потребления функционального ингредиента⁶ но он, бесспорно, является продуктом функциональной направленности.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Принято справедливо считать, что молоко и молочные продукты являются одними из самых ценных продуктов питания для человека, удовлетворяющих практически все основные его потребности. Однако для современного человека этого уже недостаточно. Приоритет отдается продуктам питания, которые обладают функциональными свойствами и которые могут быть полезны для здоровья в целом, помогая снизить риск развития определенных заболеваний и улучшить общее качество жизни. Эти продукты могут содержать дополнительные полезные элементы, такие как витамины, минералы и антиоксиданты, среди которых бетаин, обладающий антиоксидантными свойствами. Функциональными могут быть совершенно новые, сконструированные продукты питания, а могут создаваться на основе хорошо известных, традиционных продуктов, к числу которых кисломолочные продукты. Они являются высокотехнологичными, практичными и экономически выгодными для создания продуктов, обогащенных бетаином.

Экспериментально доказана возможность использования свекольного сока и бетаина в технологии йогурта. По органолептическим показателям йогурт с добавлением свекольного сока и бетаина соответствовал требованиям, предъявляемым ГОСТ 31981–2013. Йогурты. Общие технические условия.

Также исследована возможность улучшения состава творога по антиоксидантам, пищевым волокнам и микроэлементу — кремнию, благодаря внесению препарата ацидин-пепсин взамен молокосвертывающего фермента. При использовании препарата ацидин-пепсин творог обогащается не только антиоксидантом бетаин, но и пищевыми волокнами повидон, кальция стеарат, сорбитол и микроэлементом кремний.

Полученные экспериментальные образцы кисломолочных продуктов являются представителями линейки продуктов «Бета-ОН», обогащенных бетаинсодержащими компонентами.

БЛАГОДАРНОСТИ

Научно-исследовательская работа выполнена в рамках реализации программы академического лидерства ФГБОУ ВО Ставропольский ГАУ «Приоритет — 2030».

ВКЛАД АВТОРОВ

Сычева О.В.: Концептуализация, разработка методологии исследования, научное руководство исследованием, анализ экспериментальных данных, написание-рецензирование и редактирование рукописи.

Скорбина Е.А.: Проведение исследования, представление данных, подготовка и создание черновика рукописи.

Трубина И.А.: Проведение исследовательского процесса, в частности, проведение экспериментов, представление данных, подготовка и создание черновика рукописи.

⁶ ГОСТ Р 52349–2005 (2006). Продукты пищевые. Продукты пищевые функциональные. Термины и определения. Стандартинформ.

ЛИТЕРАТУРА

- Анистратова, О. В., Оникиенко, В. Г., & Гаплева, Н. М. (2019). Разработка рецептуры йогурта, обогащенного растительными компонентами. В *Балтийский морской форум. Материалы VII Международного Балтийского морского форума* (с. 7–12).
- Anistratova, O. V., Onikienko, V. G., & Gaplevskaya, N. M. (2019). Development of a yogurt recipe enriched with plant ingredients. In *The Baltic Maritime Forum. Materials of the VII International Baltic Maritime Forum*, (p. 7–12). (In Russ.)
- Асыкина, Л. К., Степанова, А. А., Тамарзина, Т. В., Лосева, А. И., & Величкович, Н. С. (2022). Российский рынок функциональных продуктов питания для здорового образа жизни человека. Социально-экономический и гуманитарный журнал, (3–25), 29–41.
- Asyakina, L. K., Stepanova, A. A., Tamarzina, T. V., Loseva, A. I., & Velichkovich, N. S. (2022). Russian market of functional food products for a healthy lifestyle. *Socio-Economic and Humanitarian Journal*, (3–25), 29–41. (In Russ.)
- Кайшев, В. Г. (2020). Обогащение продуктов питания – современный принцип пищевой индустрии. *Аграрно-пищевые инновации*, (4–12), 70–76.
- Kaishev, V. G. (2020). Food fortification is a modern principle of the food industry. *Agricultural and Food innovations*, (4–12), 70–76. (In Russ.)
- Кайшев, В. Г., & Серёгин, С. Н. (2018). Состояние и перспективы развития рынка функциональных продуктов питания. *Переработка молока*, (1–219), 14–17.
- Kaishev, V. G., & Seryogin, S. N. (2018). State and development prospects of the functional food market. *Milk Processing*, (1–219), 14–17. (In Russ.)
- Кароматов, И. Д., & Абдувохидов, А. Т. (2019). Свекла – профилактическое и лечебное значение (обзор литературы). *Биология и интегративная медицина*, (2–30), 97–124.
- Karomatov, I. D., & Abduvokhidov, A. T. (2019). Beetroot – preventive and medicinal value (literature review). *Biology and Integrative Medicine*, (2–30), 97–124. (In Russ.)
- Котвицкая, Д. В., & Анискина, М. В. (2020). Биологическая роль бетаина. В *Современные аспекты производства и переработки сельскохозяйственной продукции*, (с. 135–137).
- Kotvitskaya, D. V., & Aniskina, M. V. (2020). Biological role of betaine. In *Modern aspects of production and processing of agricultural products*, (p. 135–137). (In Russ.)
- Платонов, В. Г., & Чернов, Н. В. (2019). Рынок функциональных пищевых продуктов. *Научные Записки ОрелГИЭТ*, (2–30), 21–24.
- Platonov, V. G., & Chernov, N. V. (2019). Functional food market. *Scientific Notes of OrelGIET*, (2–30), 21–24. (In Russ.)
- Полонский, В. И. (2020). Биологическая роль и польза для здоровья бетаина в зерновых культурах (обзор). *Вестник КрасГАУ*, (1–154). <https://doi.org/10.36718/1819-4036-2020-1-53-61>
- Polonsky, V. I. (2020). Biological role and health benefits of betaine in cereals (review). *Bulletin of KrasGAU*, (1–154). <https://doi.org/10.36718/1819-4036-2020-1-53-61> (In Russ.)
- Ткачева Н., & Елисеева Т. (2022). Йогурт: влияние на здоровье и польза, доказанная учеными. *Журнал здорового питания и диетологии*, (19), 28–33. <https://doi.org/10.59316/vi19.155>
- Tkacheva N., & Eliseeva T. (2022). Yogurt: health effects and benefits proven by scientists. *Journal of Healthy Eating and Dietetics*, (19), 28–33. <https://doi.org/10.59316/vi19.155> (In Russ.)
- Штерман, С. В., Сидоренко, М. Ю., Штерман, В. С., & Сидоренко, Ю. И. (2022). Бетаин в спортивном питании. *Пищевая промышленность*, (8), 21–24.
- Sherman, S. V., Sidorenko, M. Yu., Sherman, V. S., & Sidorenko, Yu. I. (2022). Betaine in sports nutrition. *Food Industry*, (8), 21–24. (In Russ.)
- Figueroa-Soto, C. G., & Valenzuela-Soto, E. M. (2018). Glycine betaine rather than acting only as an osmolyte also plays a role as regulator in cel-lular metabolism. *Biochimie*, 147(4), 89–97. <https://doi.org/10.1016/j.biochi.2018.01.002>

<https://doi.org/10.36107/hfb.2024.il.s204>

УДК 664.6

Улучшение технологических свойств продовольственного зерна за счет использования современных технологий: Обзор предметного поля

Л. Ч. Бурак, А. Н. Сапач

ООО «БЕЛПРОСАКВА»,
Республика Беларусь

Корреспонденция:
Бурак Леонид Чеславович,
ООО «Белпросаква»,
220015, Республика Беларусь, г. Минск,
ул. Пономаренко, 35а
E-mail: leonidburak@gmail.com

Конфликт интересов:
авторы сообщают об отсутствии
конфликта интересов.

Поступила: 23.02.2024
**Поступила после
рецензирования:** 01.04.2024
Принята: 27.04.2024

Copyright: © 2024 Авторы

АННОТАЦИЯ

Введение. Снижение времени обработки и отрицательного влияния на качество продукта позволяет рассматривать современные способы термической и нетермической обработки в качестве эффективной альтернативы традиционным термическим методам.

Цель статьи провести критический анализ, систематизацию и обобщение результатов научных исследований принципов и преимуществ технологий термической и нетермической обработки и их влиянию на технологические свойства продовольственного зерна.

Материалы и методы. В обзор включены зарубежные статьи опубликованные на английском языке за период 2015–2024 год. Поиск зарубежной научной литературы на английском языке по данной теме проводили в библиографических базах Scopus, Web of Science, Elsevier и Google Scholar. Материалами для исследования послужили 143 статьи.

Результаты. Современные нетермические и термические методы являются экологичной и эффективной альтернативой традиционной химической и термической обработке продовольственного зерна. Обзор результатов научных исследований показал, что использование новых технологий в большинстве случаев положительно коррелирует с качеством продовольственного зерна. Обработка ультразвуком приводит к разрыву внутренних водородных связей между молекулами белка, тем самым ослабляя их третичную и четвертичную структуры усиливает гидролиз крахмала и снижает его вязкость. Обработка импульсным электрическим полем может вызывать конфигурационные и молекулярные изменения в биомакромолекулах сырья. В результате радиочастотного нагрева происходит увеличение набухания гранул, что приводит к незначительной желатинизации и ретроградации крахмала, одновременно снижая стабильность крахмального теста. Микроволновой нагрев приводит к образованию плотных и более однородных пор и структур внутри образца, тем самым способствуя образованию сетки гидратного геля крахмала. Вместе с тем различие в конструкции оборудования, режимах, условиях эксплуатации не позволяет в полной мере провести оценку влияния этих методов на консистенцию пищевого зерна.

Выводы. Необходимы углубленные исследования влияния современных технологий на текстурные свойства зерновых и бобовых культур, обеспечив при этом подбор и разработку параметров обработки для каждого вида продовольственного зерна. Результаты данного обзора могут представлять интерес для дальнейших научных исследований, а также для специалистов пищевой промышленности с целью внедрения этих передовых технологий.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА

продовольственное зерно, сушка, предварительная обработка, технологические свойства, ультразвук, холодная плазма, импульсное электрическое поле, микроволновой нагрев, радиочастотный нагрев, инфракрасный нагрев



Для цитирования: Бурак, Л. Ч., & Сапач, А. Н. (2024). Улучшение технологических свойств продовольственного зерна за счет использования современных технологий: Обзор предметного поля. *Health, Food & Biotechnology*, 6(1), 40–64. <https://doi.org/10.36107/hfb.2024.il.s204>

<https://doi.org/10.36107/hfb.2024.i1.s204>

Improving Technological Properties of Food Grain Through the Use of Modern Technologies: Scoping Review

Leonid Ch. Burak, Aleksandr N. Sapach

LLC "BELROSAKVA", Republic of Belarus

Correspondence:

Leonid Ch. Burak,
Belrosakva LLC,
220015, Republic of Belarus, Minsk,
st. Ponomarenko, 35a
E-mail: leonidburak@gmail.com

Declaration of competing interest:
none declared.

Received: 23.02.2024

Received in revised form: 01.04.2024

Accepted: 27.04.2024

Copyright: © 2024 The Authors

ABSTRACT

Introduction. Over the past decades, the interest of the scientific community in modern technologies of thermal and non-thermal processing has grown significantly. Reducing processing time and the negative impact on product quality allows us to consider these technologies as an effective alternative to traditional thermal methods. Technological properties of grain products includes many important characteristics that.

Purpose. The purpose of the article is to conduct a critical analysis, systematization and generalization of the results of scientific research on the fundamental principles and advantages of thermal and non-thermal processing technologies and their impact on the textural properties of food grains.

Materials and Methods. The review includes foreign articles published in English for the period 2015-2024. The search for foreign scientific literature in English on this topic was carried out in the bibliographic databases Scopus, Web of Science, Elsevier and Google Scholar. The materials for the study included 143 articles. When selecting publications for review, priority was given to highly cited sources.

Results. Modern non-thermal and thermal methods are an environmentally friendly and effective alternative to traditional chemical and thermal processing of food grains. A review of scientific research has shown that in addition to food safety and quality, the use of new technologies is, in most cases, positively correlated with the textural quality of food grains. Sonication causes the internal hydrogen bonds between protein molecules to break, thereby weakening their tertiary and quaternary structures. In addition, ultrasound treatment enhances the hydrolysis of starch and reduces its viscosity. Treatment with a pulsed electric field can cause configurational and molecular changes in the biomacromolecules of raw materials. As a result of radio frequency heating, an increase in the swelling of granules occurs, which leads to easier gelatinization and retrogradation of starch, while reducing the stability of the starch dough. Microwave heating results in the formation of denser and more uniform pores and structures within the sample, thereby promoting the formation of a starch hydration gel network. However, there are unresolved problems in the process of using modern grain processing technologies. Differences in equipment design, modes, and operating conditions do not allow us to fully assess the impact of these methods on the consistency of food grains.

Conclusions. In order to maximize the benefits of modern non-thermal and thermal technologies, in-depth studies of their influence on the textural properties of various types of grains and legumes are required, while ensuring the selection and development of processing parameters for each type of food grain. The results of this review may be of interest for further scientific research, as well as for food industry specialists in order to introduce these advanced technologies. Industrial implementation of modern technologies can become an effective alternative to traditional methods of processing grains and legumes

KEYWORDS

food grain, drying, pre-treatment, texture, ultrasound, cold plasma, pulsed electric field, microwave heating, radio frequency heating, infrared heating



To cite: Burak, L. Ch., & Sapach, A. N. (2024). Improving technological properties of food grain through the use of modern technologies: Scoping review. *Health, Food & Biotechnology*, 6(1), 40–64. <https://doi.org/10.36107/hfb.2023.i1.s165>

ВВЕДЕНИЕ

Объем ежегодного мирового производства зерна в период с 2019 по 2022 год более 2200 млн тонн, что составляет 34,4 % рациона человека и 65 % кормов для скота во всем мире (IGC, 2023; Jimoh et al., 2023). Согласно имеющимся данным, практически во всех странах, в рационе питания потребление цельнозерновых диетических продуктов значительно ниже рекомендуемого. В Северной Европе каждый человек потребляет около 50 г цельного зерна ежедневно, в то время как в США, Юго-Восточной Азии и других частях мира ежедневно потребляется только 20 г цельного зерна (Yang et al., 2023). Загрязнение микроорганизмами и вредителями является серьезной проблемой в зерноперерабатывающей промышленности, поскольку они влияют как на качество зерна, так и на количество. В связи с этим, исследования и дальнейшее промышленное внедрение эффективных и действенных методов и способов снижения послеуборочных потерь зерна является важным и необходимым (Ling et al., 2020). На эффективность традиционных методов термической обработки оказывает влияние конвекция и теплопроводность, которые происходят между нагреваемым материалом и поверхностью продукта, а также внутри продукта (Bassey et al., 2022). Одним из наиболее важных послеуборочных процессов, направленных на сохранение качества зерна, является его сушка, которая должна выполняться перед хранением (Homaioonfal & Malekjani, 2023). Из-за чрезвычайно низкой теплопроводности продовольственного зерна (в среднем: 0,5 Вт/м К) (Homaioonfal & Malekjani, 2023) такая термическая обработка, как правило, требует значительного времени. Использование более высоких температур во время традиционного процесса сушки может привести к нежелательному ухудшению качества зерна, характеризующемуся потерей текстуры, пористостью, микроструктурными изменениями и ухудшением внешнего вида, что делает пищевой продукт неприемлемым для покупателей (Lian et al., 2022). Кроме того, термическая обработка имеет такие недостатки, как снижение количества термочувствительных компонентов, изменение технологических и реологических свойств зерна, а также изменение органолептических показателей продукта (Nath et al., 2023). Для максимального удовлетворения запросов современного потребителя необходимы альтернативные эффективные нетермические и тепловые методы, такие как ультразвук, импульсное электрическое поле (PEF), холодная плазма, радиочастотная (RF), микроволновая (MW) и инфракрасная (IR) обработки, которые повышают эффективность сушки и сохраняют текстуру и пищевую ценность продукта (Boateng, 2022).

Ультразвуковые волны оказывают существенное влияние на текстуру и структуру продуктов питания в зависимости от вида, условий эксплуатации и технологиче-

ских параметров обработки. Звуковые волны высокой и низкой интенсивности могут повредить структуру тканей за счет кавитирующих микропузырьков, что приводит к снижению тургорного давления и получению более мягкой текстуры обработанных пищевых продуктов (Aslam et al., 2022). В качестве инновационного метода нетермической обработки становится все более популярной холодная плазма (CP) по причине высокой эффективности, отсутствию образования химических остатков и экологически чистого воздействия (Chen et al., 2019). Получение плазмы происходит путем ионизации газов из электрических, тепловых, оптических и радиационных источников (Mahendran et al., 2017). Эффективность использования холодной плазмы включает улучшение функциональных свойств белковых изолятов и крахмала, повышение активности амилазы и скорости поглощения воды, изменение содержания влаги в образцах и усиление окисления липидов, что влияет на текстурные характеристики. Более того, обработка плазмой может эффективно контролировать микробные популяции в зерне (Shanker et al., 2023). Импульсное электрическое поле (PEF) способствует сохранению исходных питательных веществ и органолептических свойств без побочных эффектов термической обработки, что наиболее приемлемо для обработки жидких пищевых продуктов (Bai et al., 2021). Например, технология PEF с напряженностью электрического поля в диапазоне от 20 до 250 кВ/см в течение более коротких периодов времени (мс или мкс) может применяться для пастеризации пищевых продуктов при температурах ниже 30–40 °C, что намного ниже температур термической обработки (Wang et al., 2018). Однако PEF влияет на целостность структур зерновых клеток и рыхлость крахмальных гранул (Devraj et al., 2020). В процессе радиочастотной обработки, процессе диэлектрического нагрева, обычно используют электромагнитное излучение частотой 1–100 МГц для проникновения в продукт и выработки внутреннего тепла (Jiao et al., 2018). Соответственно, радиочастотная сушка больше подходит для обработки сыпучих материалов и больших объемов обрабатываемого сырья. Эффект объемного нагрева при радиочастотной обработке повышает скорость сушки за счет быстрого и равномерного нагрева материалов, тем самым улучшая качество зерна (Mahmood et al., 2022).

Микроволновой нагрев (MW) — это неионизирующее излучение с альтернативными электромагнитными полями, которые взаимодействуют с химическими компонентами пищевых продуктов на частотах 915 или 2450 МГц, что приводит к мгновенному выделению тепла, вызванному молекулярным трением (Mahalaxmi et al., 2022). Следует отметить, что за счет энергии MW вода, содержащаяся в пищевых продуктах, быстро переносится в среду во время вакуумной сушки MW, предотвращая тем самым структурный коллапс и усадку,

а также сохраняя текстурные свойства пищевых продуктов (Kutlu et al., 2022).

В последнее время наблюдается повышенное внимание исследователей к инфракрасной сушке (IR-сушка), поскольку она способствует одновременному нагреву поверхности и внутренней части пищевых продуктов (Areesirisuk et al., 2023). IR-обработка вызывает агрегацию крахмал-белковых и крахмал-крахмальных частиц. Это также влечет перегруппировку молекул крахмала, увеличение количества конформаций и конденсацию полимера, что, в свою очередь, увеличивает распределение энергии связи и модификацию молекул крахмала. Кроме того, IR-обработка уменьшает окисление белка и улучшает стабильность и вкус белка во время хранения за счет подавления образования карбонильных соединений. Свободные сульфгидрильные (SH) группы необратимо окисляются с образованием дисульфидных связей (SS), которые затем образуют поперечные связи внутри крахмала, влияя на желатинизацию зерна (Ding et al., 2023).

Текстура является одним из наиболее важных показателей для потребителей при оценке качества и общей приемлемости пищевых продуктов. Понимание молекулярных механизмов и микроструктуры, лежащих в основе текстурных изменений, может помочь оценить влияние каждой операции обработки на качество продукта и предпочтения потребителей. При переработке пищевых продуктов растительного происхождения изменения в клетках и тканях можно использовать для оценки текстурных и структурных параметров для контроля качества в пищевой цепи промышленного производства (Kutlu et al., 2022; Pandiselvam, Tak et al., 2022).

За последнее десятилетие вопросы разработки и применения нетермических и термических технологий в технологических процессах сушки, оттаивания, пастеризации, дезинфекции и дезинсекции всесторонне изучены (Gao et al., 2023; Sakudo et al., 2019). Следует отметить, что наряду с положительным влиянием современных развивающихся технологий и методов обработки на пищевую ценность продуктов, снижении времени обработки, экономии энергоресурсов, не менее важно выяснить их влияние на технологические свойства продовольственного зерна, к которому они применяются. Текстурные характеристики являются одними из наиболее важных элементов, влияющих на внешний вид продукта и соответственно выбор потребителями пищевых продуктов (независимо от того, обработаны они или нет). На момент написания данной статьи нами не установлены критические обзоры результатов научных исследований по улучшению текстурных свойств продовольственного зерна с использованием новых термических и нетермических технологий. Поэтому основная цель данной статьи — провести критический

анализ, систематизацию и обобщении результатов научных исследований фундаментальных принципов и преимуществ технологий термической и нетермической обработки и их влиянию на технологические свойства продовольственного зерна.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Базы данных и временные рамки

Поиск зарубежной научной литературы на английском языке по вопросам влияния современных термических и нетермических технологий на технологические свойства продовольственного зерна проводили в международных библиографических базах «Scopus», «Web of Science», «Elsevier», «Google Scholar». Материалами для исследования послужили 143 статьи. В качестве временных рамок для обзора научных публикаций был принят период 2015–2023 гг. Более ранние научные статьи изучали только при отсутствии новых публикаций по теме исследования. При выполнении работы применяли методы анализа, систематизации и обобщения.

Критерии включения и исключения источников

Для поисковых запросов в зарубежных базах данных «Scopus», «Web of Science», «Elsevier», «Google Scholar» были использованы следующие ключевые слова и словосочетания: *food grain, drying, pre-treatment, technological properties, ultrasound, cold plasma, pulsed electric field, microwave heating, radio frequency heating, infrared heating*.

Критерии включения и исключения для статей, подлежащих анализу, были следующими:

Критерии включения:

- (1) Статья написана в период 2015–2024 год;
- (2) Статья соответствует теме исследования;
- (3) Типы анализируемых статей — оригинальные исследовательские статьи, обзорные статьи и краткие отчеты.

Критерии исключения:

- (1) Статья не соответствует теме данного обзора: не касаются тематики влияния термических и нетермических технологий на текстурные свойства продовольственного зерна.
- (2) Статья написана не на английском языке;
- (3) Содержание статьи дублируется. Если из разных баз данных или разных электронных библиотечных систем были извлечены повторяющиеся источники, их классифицировали только один раз.

Анализ и систематизация данных

Результаты анализа были представлены в виде таблиц и диаграмм для визуализации данных. Для обзора предметного поля проведенного исследования использовали алгоритм в соответствии с протоколом PRIZMA и составили схему проведения исследования (Рисунок 1).

Извлечение и анализ данных

Для анализа источников и поиска ответов на поставленные вопросы исследования: рассмотреть влияние обработки продовольственного зерна современными термическими и нетермическими способами на текстурные свойства, изменения химического состава и микроструктуры клеток тканей; анализ изменения качественных показателей и пищевой ценности продовольственного зерна в результате обработки ультразвуком, импульсным электрическим полем, холодной плазмой, микроволновой, радиочастотной энергией, действия современных термических и нетермических методов в качестве предварительной обработки перед сушкой зерна, уделяя особое внимание изменению физико-химических показателей и пищевой ценности сушеной продукции; преимущества и ограничения применения современных технологий. Извлекались данные из 143 статей, соответствующих критериям включения, и вносились в Таблицу 1.

Таблица 1
Пример извлечения данных из статей, включенных в обзор

№	Заглавие	Автор и год	Влияние термической технологии обработки, параметров на структуру и свойства зерна или продуктов переработки	Основные принципы обработки современной технологии	Влияние предварительной обработки на изменение качественных показателей зерна, или продукции его переработки	Преимущества и недостатки используемой технологии
1	Different effects of radio frequency and heat block treatments on multi-scale structure and pasting properties of maize, potato, and pea starches.	Zhou, D., Yang, G., Tian, Y., Kang, J., & Wang, S 8 (2023)	RF and HB treatments were applied on maize, potato and pea starches, and the modification on the multi-scale structure and pasting properties of starch was monitored completely. The changes of granular morphology, semi-crystalline layer, long- and short-range ordered structures of maize, potato and pea starches were found to be dependent on not only the treatment methods but also the average heating rate	RF energy is a high frequency alternating electromagnetic wave with a frequency ranging from 3 kHz to 300 MHz and a wavelength in the range of 1 m–100 km	Results showed that the heating uniformity index λ of samples ranged from 0.003 to 0.008, and there was no significant difference in heating uniformity between RF and HB treatments under the same conditions. Compared with the HB treatment, there were more cracks, larger pores, and more debris on the surface of RF treated potato, maize and pea starch granules. After RF treatment, the internal structure of starch was less compact and the crystal layer was thicker using small angle X-ray scattering.	RF treatment tends to destroy granule structure, reduce crystallinity and short-range order structure, change the ratio of α-helix, β-sheet and random coil, and affect the physicochemical properties of various components. Therefore, it is necessary to characterize the fine structure of protein and starch and study their physicochemical properties after RF treatment of grain



Примечание. PRISMA Extension for Scoping Reviews (PRISMA-ScR): Checklist and Explanation, 2018 (<https://www.acpjournals.org/doi/10.7326/M18-0850>)

Окончание Таблицы 1

№	Заглавие	Автор и год	Влияние термической технологии обработки, параметров на структуру и свойства зерна или продуктов переработки	Основные принципы обработки современной технологии	Влияние предварительной обработки на изменение качественных показателей зерна, или продукции его переработки	Преимущества и недостатки используемой технологии
2	Molecular functionality of plant proteins from low- to high-solid systems with ligand and co-solute.	Paramita, V. D., Panyoyai, N., & Kasapis, S. (2020)	It was shown that applying a PEF pre-treatment of 1.07 and 4.0 kJ/kg to whole onions prior to drying resulted in a positive change in the drying kinetics. For drying at a constant temperature of 85 °C, the BP was achieved 20 min faster. Moreover, PEF treatment resulted in a 25 % faster drying process.	Studies of soy protein isolate (SPI) dispersion treated with low frequency (20 kHz) ultrasound at different powers (200, 400 or 600 W) and treatment durations (15 or 30 minutes) showed that longer treatment times and intense power significantly reduced the value modulus of elasticity (G'), but expanded the linear viscoelastic region (LVR) of the re-diluted 12.5 % SPI dispersion in the strain test	In studies of plant proteins, low-frequency ultrasound of 20–100 kHz and power in the range of 100–1000 W/cm ² changed the structural properties of plant proteins due to the strong shear and mechanical forces generated by the cavitation phenomenon. This phenomenon causes changes in protein conformation by exposing sulfhydryl groups and increasing hydrophobic regions on the protein surface, which affects the functionality of plant proteins.	High intensity ultrasonic wave can cause aggregation of numerous plant protein extracts (pea, canola, albumin seeds) suspended in aqueous solution. The longer sonication period promoted protein-water interactions, resulting in a broad size distribution of broken microparticles in the protein suspension
3	Pulsed electric field-induced modification of proteins: A comprehensive review	Shams, R., Manzoor, S., Shabir, I., Dar, A. H., Dash, K. K., Srivastava, S., Pandey, V. K., Bashir, I., & Khan, S. A (2023).	PEF treatment changes the secondary and tertiary structure of proteins in various foods, as well as their technical and functional qualities. Increasing the electric field strength can improve the emulsifying properties of proteins and protein-polysaccharide complexes. As the duration of PEF treatment increases, unfolded protein molecules can interact hydrophobically and covalently to form aggregates.	Effective electroporation improved the membrane permeability of the highly lignified palisade layer in the black bean kernel shell, not just the basal region, which resulted in loss of structural integrity and therefore explained the softness of PEF-treated black beans. It should also be noted that the application of PEF improved other textural qualities of raw black beans, despite a decrease in hardness	Depending on the intensity of processing of the food matrix and the properties of the proteins present in the food, PEF treatment modifies the conformational structure of proteins, contributing to changes in their physicochemical and functional properties	

Примечание. Из «Zhou, D., Yang, G., Tian, Y., Kang, J., & Wang, S. (2023). Different effects of radio frequency and heat block treatments on multi-scale structure and pasting properties of maize, potato, and pea starches. *Food Hydrocolloids*, 136, 108306», «Paramita, V. D., Panyoyai, N., & Kasapis, S. (2020). Molecular functionality of plant proteins from low- to high-solid systems with ligand and co-solute. *International Journal of Molecular Sciences*, 21(7), 2550», «Shams, R., Manzoor, S., Shabir, I., Dar, A. H., Dash, K. K., Srivastava, S., Pandey, V. K., Bashir, I., & Khan, S. A. (2023). Pulsed electric field-induced modification of proteins: A comprehensive review. *Food and Bioprocess Technology*, 2023, 1–33».

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Влияние современных нетермических технологий на технологические свойства продовольственного зерна

Реологические и текстурные характеристики пищевого сырья имеют первостепенное значение для потребителей. Технологический процесс получения подходящей текстуры и структуры пищевых продуктов включают методы приготовления или обработки, предполагающие взаимодействие между различными материалами (Jarén et al., 2016). В последнее время исследованы и получили промышленное внедрение различные технологии обработки. В связи с этим, крайне важно понять механизмы, с помощью которых новые технологии, такие как холодная плазма, ультразвук, PEF, RF, MW и IR, влияют на реологические и текстурные свойства пищевых продуктов. В целом влияние термических и нетермических технологий на текстуру зерна определяется условиями обработки, а также типом и структурой зернового сырья, поэтому целесообразно масштабировать разрабатываемые технологии до промышленного уровня и оптимизировать условия их переработки (Pandiselvam, Kothakota, et al., 2022). Восприятие текстуры пищевых продуктов как показателя качества пищевых продуктов представляет собой когнитивный процесс, основанный на сенсорной, оральной и визуальной обработке, который включает в себя все структурные и реологические (поверхностные и геометрические) характеристики пищевых продуктов. Инструментальная оценка текстуры пищи является практичной и эффективной альтернативой органолептической оценке (Pandiselvam, Singh, et al., 2022). Текстуру пищевых продуктов можно определить с использованием конкретных характеристик, определяемых приборами или обученной группой (органолептических) дегустаторов. Анализ профиля текстуры используется для измерения и анализа текстурных свойств, включая реологические свойства, вязкость, твердость, когезионность, упругость, жевательную способность и липкость (Aslam et al., 2021).

Предварительная обработка ультразвуком

В пищевой промышленности ультразвук эффективно применяется в качестве экологически безопасного метода замены традиционных методов обработки пищевых продуктов. В данной технологии используются акустические волны с частотой более 20 кГц, которые можно разделить на ультразвук низкой интенсивности (100 кГц–1 МГц) и ультразвук высокой интенсивности или низкой частоты (20–100 кГц) (Nwachukwu & Aluko, 2021). Например, низкочастотный ультразвук (20–100 кГц, мощность 100–1000 Вт/см²) влияет на структурные свойства белков бобовых культур за счет развития

сильных механических и сдвиговых сил и воздействия SH-групп, влияя таким образом на их техногенность и функциональные свойства при дальнейшем использовании растительных белков (Paramita et al., 2020; Sridhar et al., 2022). Flores-Silva et al. (2017) установили, что ультразвуковая обработка (24 кГц в течение 16 мин) изменяла состав крахмала в процессе желатинизации, увеличивая содержание резистентного крахмала и фракций быстроусвояемого крахмала. Ультразвуковая обработка улучшает морфологию крахмальных гранул, приводя к образованию большого количества короткоцепочечных молекул амилозы при желатинизации, которые обладают низкой устойчивостью к активности амилазы при расщеплении *in vitro*. Крахмал, обработанный ультразвуком, имеет более низкую температуру желатинизации, чем нативный крахмал, и, таким образом, приводит к увеличению расширения гранул при нагревании. Поскольку ультразвук разрушает поверхность крахмальных гранул, он увеличивает их способность набухания и растворимость в воде, одновременно снижая их клеящие свойства, кристалличность, вязкость пасты и относительную степень полимеризации (Kong, 2019). Ультразвуковая обработка, как нетермический метод, эффективна в применении для термочувствительных пищевых продуктов, поскольку она сохраняет их питательные, сенсорные и функциональные свойства, одновременно увеличивая срок их хранения и микробиологическую стабильность (Juodeikiene et al., 2020). Ультразвуковая обработка обычно используется для изменения текстуры, улучшения массообмена и анализа пищевых продуктов (Barbhuiya et al., 2021). В процессе исследования твердость замоченных соевых бобов снизилась на 30 % после обработки ультразвуком из-за желатинизации крахмала и пектина при нагревании. Более того, размягчение белковой матрицы и разрушение средней пластинки соевых бобов также снизили их твердость (Zhang, Hu, et al., 2021). Применение ультразвуковой обработки различной интенсивности и мощности способно характеризовать механизмы, с помощью которых ультразвуковые параметры влияют на свойства белка и крахмала, что может быть полезно для улучшения текстурных свойств зерновых продуктов во время обработки (Bonto et al., 2021).

Механизмы действия и применение предварительной обработки ультразвуком для улучшения технологических свойств продовольственного зерна

Ультразвуковая обработка усиливает поглощение воды посредством процессов прямого действия, связанных с быстрыми попеременными сокращениями и расширениями тканевого матрикса, а также косвенного действия, связанных с разрушением клеток и образованием микроканалов, вызванными акустической кавитаци-

ей. Образование трещин усиливает массообмен за счет увеличения пористости материала. Образование микроканалов было установлено в зернах сорго с высокой активностью воды (Miano et al., 2016) и в зернах риса (Bonto et al., 2021), в то время как это не подтверждается для зерен кукурузы (Miano et al., 2017). Это дает возможность предположить, что активность воды и структурные различия могут влиять на механизм действия (Mazi et al., 2023). Более того, интенсивность и время воздействия влияют на структуру белка, поэтому важно выбрать подходящий уровень обработки. Физические изменения, вызываемые во время вспенивания с помощью ультразвука, должны частично способствовать денатурации белковых цепей и проникновению пузырьков воздуха, сохраняя при этом стабильность текстуры (Aslam et al., 2022). Структурные изменения белков во время обработки пищевых продуктов могут повлиять на их функциональность. Физические силы, возникающие в результате кавитации, объясняются воздействием ультразвука на конформационные и структурные свойства пищевых белков (Barbhuiya et al., 2021). Результаты более раннего исследования показывают, что правильная ультразвуковая обработка (4°C) способствовала образованию более однородной и компактной микроструктуры геля лиофилизированного изолята соевого белка (SPI), тем самым увеличивая его эластичность, твердость, жевательную способность и когезионную способность после регидратации. Сообщается, что текстурные характеристики гелей SPI связаны с содержанием в них воды, микроструктурой и составом. Во время замораживания геля SPI из белковой сети высвобождается плохо связанная и текучая вода, что приводит к образованию кристаллов льда с более низкой плотностью. С увеличением количества воды, высвобождаемой из белковой сети, белок-водные взаимодействия медленно заменяются белок-белковыми взаимодействиями, улучшая эластичность, твердость, жевательную способность и когезивность гелей SPI. И наоборот, процесс регидратации медленно смягчает текстуру, повышает эластичность и снижает твердость гелей SPI (Liang et al., 2021). Более того, SH и водородные связи глютен могут быть разрушены высокой мощностью ультразвука, что приводит к уменьшению содержания глютена. Высокое давление и температура обработки ультразвуком могут также отрицательно влиять на водородные связи между молекулами белка и глютена, ослабляя их четвертичные и третичные структуры и приводя к рыхлой сетевой структуре (Cao et al., 2023). В другом исследовании текстура образцов аквафабы, обработанных при 50 % мощности оборудования, существенно не изменилась; однако образцы, обработанные при 100 % мощности, имели более твердую текстуру (Meurer et al., 2020). После применения ультразвука твердость пророщенных образцов красного и коричневого риса снизилась на 43,4 % и 39,2 %, соответственно. Поскольку твердость риса является критическим параметром, определяющим продолжительность

его приготовления, проросший рис, обработанный ультразвуком, должен иметь более короткое время приготовления на пару. Кроме того, обработка ультразвуком усиливает гидролиз крахмала и снижает его вязкость (Ding et al., 2018).

Ограничения в крупномасштабном применении ультразвуковой обработки продовольственного зерна и пути дальнейшего развития

Высокоинтенсивная ультразвуковая обработка увеличивает твердость, прочность и водоудерживающую способность гелей SPI, индуцированных глюконовой кислотой-дельта-лактоном (ГДЛ). Более того, применение ультразвука вызывает агрегацию белка, а также денатурацию и сворачивание структуры белка, тем самым влияя на текстуру и функциональные свойства тофу GDL (Liang et al., 2021). Обработанные ультразвуком белки рисовой лапши, пищевые волокна и липиды способствуют образованию амилозо-липидных комплексов V-типа и повышают относительную кристалличность. Увеличение структуры V-типа и относительной кристалличности приводит к снижению содержания перевариваемого крахмала в рисовой лапше (Geng et al., 2021). В сочетании с обработкой трансклутаминой ультразвук может стимулировать реакции сшивания между белками и увеличивать их твердость и липкость. Кроме того, ультразвуковая обработка может изменить конформацию белка, способствовать распределению крахмала в белковых структурах и увеличить сшивку белков глютена (Li, Guo et al., 2023). Поскольку предпочтения потребителей в отношении сенсорного восприятия сушеных продуктов различаются, температурные условия эксплуатации можно регулировать в зависимости от желаемых текстурных характеристик. Например, высокоинтенсивная ультразвуковая обработка может помочь в разработке мягких белково-крахмальных гелей из зерен с рядом текстурных характеристик, подходящих для потребителей, страдающих дисфагией (Ji et al., 2023). Тем не менее, целесообразно провести дальнейшие исследования по применению ультразвуковой технологии и ее связи со структурой пищевых продуктов, чтобы получить более глубокое понимание процесса и его влияния на параметры продукта, с целью промышленного использования для производства продуктов питания с улучшенной функциональностью и текстурой.

Предварительная обработка холодной плазмой

Холодная плазма — это нетермический метод, основанный на использовании свободных радикалов, атомов, ионов и фотонов в высокоэнергетическом состоянии во время обработки пищевых продуктов. Одним из пре-

имуществ данного метода является сохранение химического состава пищевых продуктов. Обработка холодной плазмой способна улучшать функциональные свойства белковых изолятов, крахмала и риса за счет молекулярных и поверхностных модификаций (Shanker et al., 2023). Более того, химические реакции между полимером крахмала и частицами плазмы, в основном кислородсодержащими группами, такими как карбоксильные, гидроксильные и карбонильные группы, приводят к функционализации крахмала. Предполагается, что изменения крахмала, вызванные обработкой плазмой, опосредуются деполимеризацией, реакциями сшивания и функционализацией (Barbhuiya et al., 2021). Холодная плазма — это простой и безопасный метод, который повышает содержание резистентного крахмала и обеспечивает структурную модификацию и сохранение зерна эффективнее, чем при традиционной обработке зерна (Shanker et al., 2023).

Механизм и применение предварительной обработки холодной плазмой для улучшения технологических свойств продовольственного зерна

Поверхностная абляция/ травление, вызванное активными видами плазмы, вызывает изменения текстуры и кулинарных свойств продовольственного зерна. Увеличение поверхностной энергии и уменьшение угла смачивания образцов, обработанных плазмой, свидетельствует об эффективном внедрении полярных групп на поверхность рисовых зерен (Thirumdas et al., 2016). Применение холодной плазмы разрушало оболочку семян сои и улучшала водопоглощение, тем самым уменьшая твердость ростков сои (Ji et al., 2022) (Таблица 1). Холодная плазма содержит высокую концентрацию активных кислородных веществ, которые могут окислять свободные SH-группы полипептидных цепей белков и образовывать SS-связи во время реги-

дратации, что приводило к образованию плотной структуры на поверхности, увеличивало твердость свежей влажной лапши (Chen et al., 2020). Жевательная способность, упругость и эластичность гречихи значительно увеличиваются после прорастания и еще больше усиливаются, когда проросшие зерна гречихи предварительно обрабатываются холодной атмосферной плазмой. И наоборот, пророщенные зерна гречихи, обработанные холодной плазмой, обладают пониженной твердостью. Изменения устойчивости тесно связаны с параметрами эластичности. Повышенную эластичность, упругость и разжевываемость пророщенных зерен гречихи, обработанных плазмой, можно объяснить формированием сетчатой структуры и гидратирующим эффектом белков гречихи. По сравнению с необработанной гречкой в пророщенных зернах гречихи, обработанных холодной плазмой, увеличивается гидратация белка, а также белок-крахмальные и белок-белковые взаимодействия, что увеличивает силу деформации и облегчает обработку гречневого теста. Вместе с тем, прорастание в условиях холодного атмосферного плазменного стресса не оказывает существенного влияния на склеивание и адгезивность (Guiyun et al., 2022). Вышеупомянутые результаты исследований показывают, что обработка холодной плазмой приводит к окислению белка и повышает прочность теста из обработанной пшеничной муки (Bahrami et al., 2016). Клейкость и твердость являются важными параметрами, связанными с гидратацией крахмальных гранул. Установлено, что адгезивность положительно коррелировала, тогда как твердость отрицательно коррелировала с обработкой плазмой, с диапазонами между 0,064 и 0,205 Н и 19,30 и 12,36 Н, соответственно. Такое снижение твердости и увеличение клейкости может быть связано с выщелачиванием крахмала, деполимеризацией углеводной фракции или поверхностных частиц с более низкой молекулярной массой, а также повышенной текучестью и желатинизацией крахмала после применения холодной плазмы (Sarangapani et al., 2017).

Таблица 2
Обзор основных результатов влияния новых термических технологий на свойства продовольственного зерна и продуктов его переработки

Наименование нетермической технологии обработки	Вид обрабатываемого сырья	Параметры обработки	Результаты обработки	Источник
Ультразвуковая обработка	Фасоль маш	250 Дж/мл в течение 2 мин.	Обработка ультразвуком высокой мощности улучшила упругость, когезивность, липкость, жевательную способность и устойчивость гелей.	Rahman and Lamsal (2023)
Обработка импульсным электрическим полем	Черные бобы	Импульсные электрические поля/ PEF (напряженность электрического поля 1–2 кВ/см, удельная энергия 9–127 кДж/кг)	Увеличение напряженности электрического поля оказало значительное негативное влияние на твердость черных бобов.	Alpos et al. (2022)

Окончание Таблицы 2

Наименование нетермической технологии обработки	Вид обраба- тываемого сырья	Параметры обработки	Результаты обработки	Источник
Обработка холод- ной плазмой	Гречиха	Стрессовая обработка холодной атмосферной плазмой (50 Вт в течение 40 с) семян гречихи (BW) с последующим проращиванием при 30°C в течение 60 ч.	Установлена тенденция к снижению твердости у пророщенной гречихи, обработанной холодной атмосферной плазмой, по сравнению с пророщенной гречкой ($p < 0,05$).	Guiyun et al. (2022)
Обработка холод- ной плазмой	Ростки сои	Холодная плазма различного времени действия (0, 30, 60, 120 и 180 с)	Твердость ростков сои снизилась, а их хрупкость увеличилась после умеренной обработки холодной плазмой.	Ji et al (2022)
Обработка импуль- сным электриче- ским полем	Нут	Обработка импульсным электри- ческим полем (2,5 и 3,3 кВ/см, от 0,2 до 12,0 кДж/кг, длительность импульса 15 мкс, частота 20 Гц)	Результаты показали, что прочность образцов, обработанных импульсным электрическим полем, во всех исследо- ванных условиях снижалась с увели- чением энергозатрат по сравнению с необработанным образцом.	Andreu et al (2021)
Ультразвуковая обработка	Изолят соевого белка	Для оценки эффективности ульт- развуковой обработки (4 °C) приме- нялись различные уровни мощности ультразвука (0, 100, 200, 300, 400 и 500 Вт).	Ультразвуковая обработка (4 °C) уси- лила белок-белковое взаимодействие, увеличила количество белков в сетевой структуре и улучшила однородность гелевой сети, а затем улучшила твер- дость, эластичность, когезионность и жевательную способность геля изолята соевого белка.	Liang et al (2021)
Обработка холод- ной плазмой	Китайский шлифован- ный рис	мощность 120 Вт в течение 20 с.	Обработка холодной плазмой значи- тельно сократила время приготовления и твердость приготовленного риса, одновременно увеличив клейкость, эластичность и снижение сухих веществ в кашеце.	Liu et al (2021)
Обработка импуль- сным электриче- ским полем	Рис	Воздействие импульсного электрического поля напряженностью поля 3 кВ/см 50–300 импульсов	Клейкие рисовые продукты, пригото- вленные с использованием рисовых зерен, обработанных импульсным элек- трическим полем, обладали более мягкой текстурой и более приятным вкусом.	Qiu et al (2021)
Ультразвуковая обработка	Пшеничная клейковина	Частота ультразвука составляла 20 кГц, время включения и выклю- чения — 5 с, плотность мощности ультразвука — 20, 40, 60, 80 или 100 Вт/л.	Для всех образцов в процессе замора- живания твердость сначала уменьша- лась, а затем увеличивалась с увеличе- нием удельной мощности по сравнению с контролем.	Lee et al (2019)

Качество продуктов питания также тесно связано с твердостью и ломкостью зерна. Обработка холодной активированной плазмой водой не оказала существенного влияния на твердость или ломкость ростков сои. Однако, как установлено при длительной обработке холодной плазмой твердость проростков снизилась на 39,86 % в дистиллированной воде и на 35,92 % в воде, активированной холодной плазмой (Ji et al., 2022). Это снижение можно объяснить длительной обработкой холодной плазмой, которая повреждает клетки ростков сои. Однако ни вода, активированная холодной плазмой, ни обработка холодной плазмой не оказали существенного влияния на когезивность, упругость, жевательную

способность или липкость (Ji et al., 2022). Обработка холодной плазмой мощностью 120 Вт в течение 20 с значительно снижает твердость, но повышает эластичность и клейкость рисовых зерен (Liu et al., 2021). Подобное снижение твердости указывает на то, что высвобождающиеся компоненты могут быть ответственны за увеличение клейкости и снижение твердости образцов вареного риса. Более того, значение твердости вареного риса снижается с увеличением мощности и времени применения плазменной обработки (Tirumdas et al., 2016). Кроме того, обработка холодной плазмой не делала тесто более липким, что могло быть эффективным с точки зрения сохранения органолептических качеств гречки. В целом,

дифференциальная сканирующая калориметрия, реология и оценка текстуры показали, что порошок пророщенной гречихи, подвергнутый воздействию холодной плазмы, обладает лучшими технологическими характеристиками, чем проросшая гречка и порошок гречихи (Guiyun et al., 2022). Пшеничная мука, активированная плазмой и обработанная водой, показала снижение вязкости, возможно, из-за присутствия кислотных компонентов в цепях крахмала, активированного плазмой и гидролизованного водой (Zambelli et al., 2018). Кроме того, кислотные компоненты активированной плазмой воды гидролизуют белки, в результате чего образуются хрупкие набухшие гранулы крахмала, что еще больше снижает вязкость пшеничной муки (Chung et al., 2012). В условиях высокой температуры и высокого сдвига вязкость разрушения отражает термическую стабильность набухших гранул крахмала (Trung et al., 2017).

Ограничения в крупномасштабном применении обработки холодной плазмой продовольственного зерна и пути дальнейшего развития

Плазменная обработка приводит к потере влаги с поверхности зерен, что оказывает влияние на текстуру и внешний вид арахиса и снижала его товарный вес (Gebremical et al., 2019). В другом исследовании установлено, что большее количество связей SS и чрезмерное увеличение гидрофобных связей во время гелеобразования дисперсии белка, обработанной холодной плазмой, приводят к образованию более твердых гелей, что отрицательно влияет на их текстурные характеристики (Rahman & Lamsal, 2023). Взаимодействия между белками и плазмой сложны и остаются недостаточно изученными. В связи этим необходимо продолжить исследования с целью установления механизмов плазменно-индуцированных изменений и их влияния на структурные и текстурные свойства зерна, а также выяснения процесса, с помощью которого холодная плазма модифицирует крахмал, инактивирует микробы и изменяет структуру белков действием при различных параметрах обработки. Кроме того, научным приоритетом должна стать оценка влияния обработки холодной плазмой на пищевую ценность и органолептические качества зерна.

Предварительная обработка импульсным электрическим полем (PEF)

Во время обработки PEF в диапазоне 0,1–100 кВ/см² импульсы электрического поля неоднократно воздействуют на продукты питания, расположенные между электродами. PEF вызывает электропорацию клеток в твердых пищевых продуктах и поэтому используется

в качестве метода предварительной обработки при сушке, экстракции, очистке и приготовлении пищи за счет усиления массопереноса (Zhang, Lyu, et al., 2023). В зависимости от интенсивности обработки пищевой матрицы и свойств белков, присутствующих в пищевых продуктах, обработка PEF модифицирует конформационную структуру белков, способствуя изменению их физико-химических и функциональных свойств (Shams et al., 2023). Кроме того, крахмал, обработанный PEF быстро клейстеризуется из-за массивной перестройки и разрушения его молекулярной структуры во время применения PEF с высокой напряженностью поля. После обработки PEF структурные изменения в крахмале воскообразного риса влияют на структуру перевариваемости, тем самым увеличивая содержание быстроперевариваемого крахмала (RDS) и одновременно снижая содержание медленно перевариваемого крахмала (SDS) по сравнению с таковым в нативном крахмале (Zeng et al., 2016). Аналогично, в другом исследовании установлено, что увеличение интенсивности электрического поля значительно увеличивает RDS, но снижает SDS и крахмала гороха (Li, Wu et al., 2019). Обработка PEF положительно влияет на качество пищевых продуктов, благодаря снижению деградации биологически активных веществ и максимальному сохранению органолептических показателей в процессе обработки (Qiu et al., 2021). Предварительная обработка импульсным электрическим полем перед сушкой обеспечивает сокращение времени сушки, снижение энергоемкости и сохранение биологических операций в готовом продукте.

Механизм и применение обработки PEF для улучшения технологических свойств продовольственного зерна

Обработка PEF может изменить технологические и физико-химические свойства пищевых продуктов, вызывая конфигурационные и молекулярные изменения в биомакромолекулах сырья (Qiu et al., 2021). Сканирующая электронная микроскопия показала, что предварительная обработка PEF приводит к образованию однородно пористых зерен риса, создавая эффективную структуру каркаса, которая способствует жеванию и упругости приготовленного риса (Bai et al., 2021). Сообщается, что электропорация под воздействием PEF также увеличивает проницаемость клеточных мембран (Gong et al., 2022). Эффективная электропорация улучшила проницаемость мембран сильно лигнифицированного палисадного слоя в оболочке ядра черной фасоли, а не только в прикорневой области, что привело к потере структурной целостности и, следовательно, объяснило мягкость черных бобов, обработанных PEF. Следует также отметить, что применение PEF улучшило другие текстурные качества сырых черных бобов, несмотря на снижение твердости (Alpos et al., 2022). Продукты

из клейкого риса, полученные из полностью приготовленных зерен клейкого риса или муки, имели характерную текстуру из-за клейкости и липкости приготовленного клейкого риса. Как следствие этого, клейкие рисовые лепешки, обработанные PEF, демонстрировали однородный вкус и гладкую текстуру во время обработки пищевых продуктов (Qiu et al., 2021). Установлено, что более высокие значения когезивности могут быть связаны с усиленным взаимодействием между крахмалом и белками, а также с другими макромолекулами в рисовых зернах (Bai et al., 2021). Недавнее исследование показало, что более высокая напряженность электрического поля приводит к более однородной структуре пшеничной клейковины. В хлебобулочных изделиях плотные и равномерно распределенные поры делают текстуру более рыхлой. В результате исследования показано, что обработка PEF влияет на морфологию выпеченных изделий из-за взаимодействия между глютенином и глиадином (изменения SH и SS), а также изменений конформации вторичной структуры глютена (Li, Wu et al., 2019). В процессе обработки PEF размер пор и объем пористых структур на поверхности гранул кукурузного крахмала значительно увеличиваются, вызывая коллапс некоторых из этих структур. Обработка PEF также поляризует гранулы крахмала, повреждая их плотный внешний слой и снижая механическую прочность кукурузного крахмала (Li, Wang, Han et al., 2023). Пористая структура сшитых крахмальных гранул аналогична структуре пористых крахмальных гранул, обработанных PEF; однако агрегация крахмала приводит к образованию кластеров крахмала. Это связано с тем, что ковалентные связи, создаваемые сшивающим агентом триметафосфатом натрия внутри молекул крахмала, позволяют небольшой части гранул крахмала в реакционной смеси сшиваться друг с другом и образовывать кластеры крахмала, которые облегчают их адгезию (Luo et al., 2023). Следовательно, твердость образцов, обработанных PEF, снижается с увеличением энергозатрат при всех условиях эксплуатации. В другом исследовании предварительная обработка PEF привела к смягчению тканей нута из-за более быстрого поглощения воды во время регидратации. С увеличением интенсивности обработки PEF (>3,6 кДж/кг) твердость образцов быстро снижается (Andreou et al., 2021). Амилолитические ферменты гидролизуют гликозидные связи в крахмале с образованием растворимой мальтозы и глюкозы (Barman & Dkhar, 2015). Следовательно, в присутствии β -глюкана на гидролиз крахмала отрицательно влияет повышение вязкости и снижение амилолитической активности (Duque et al., 2022). Сообщается, что содержание амилозы имело значительную положительную корреляцию с жевательной способностью и твердостью, но отрицательную корреляцию с когезивностью. Желатинизация гранул с большим содержанием амилозы во время приготовления затруднена, что приводит к снижению способности к набуханию и увеличению твердости и жева-

тельной способности приготовленной лапши (Hong et al., 2020). Таким образом, гранулы крахмала с улучшенной способностью к набуханию можно использовать для приготовления вареной лапши с мягкой текстурой. Этерифицированный крахмал, индуцированный PEF, более склонен к перевариванию, чем крахмал, модифицированный традиционными методами (Hong et al., 2020; Pu et al., 2017).

Ограничения в промышленном использовании обработки продовольственного зерна PEF и дальнейшие перспективы

Результаты исследования Alpos et al. показали, что следует избегать термической обработки при температуре выше 90 °C без добавления кальция, чтобы предотвратить серьезное ухудшение параметров текстуры (до 70 %) бобов, обработанных PEF, из-за потери структурной целостности, вызванной повышенной температурой (Alpos et al., 2022). С точки зрения промышленного производства предполагается, что производство бобовых с уменьшенным временем регидратации перед приготовлением и одновременным выделением нежелательных углеводов будет иметь более высокий уровень восприятия потребителями (Andreou et al., 2021). Более того, обработка PEF может разрушать клеточные мембраны и изменять механические свойства тканей растений, что приводит к изменению их физических и текстурных свойств. Это важная новая область исследований, которая потенциально может расширить использование обработки PEF в пищевой промышленности, поскольку она предполагает, что более низкая степень набухания крахмала приводит к уменьшению его разрушения при варке, что указывает на значительное снижение вязкости после достижения максимального значения. Несмотря на преимущества обработки PEF, ни в одном из исследований не изучалось влияние обработки PEF на усвояемость крахмала *in vitro* (Barbhuiya et al., 2021). Следовательно, необходимы дальнейшие исследования обработки зерна PEF, чтобы лучше понять влияние импульсов электрического поля на белки.

Влияние современных способов термической обработки на технологические свойства пищевого зерна

Радиочастотный нагрев (RF)

Обработка с использованием радиочастотной энергии включает в себя электромагнитные волны в диапазоне от 0,3 до 300 МГц, которые вызывают объемный и быстрый нагрев. Данная обработка имеет преимущество

перед другими термическими и традиционными термическими способами обработки (Oke & Baik, 2022; Xie et al., 2022). Обработка радиочастотным нагревом генерирует тепло внутри продукта за счет движения полярных молекул и заряженных ионов в переменном магнитном поле. В более ранних исследованиях изучалось влияние RF-процесса на структурные и функциональные изменения белков, а также кристаллической структуры крахмала для обеспечения эффективной термической обработки продовольственного зерна с лучшими микроструктурными, текстурными и органолептическими показателями (Liu et al., 2021; Mahmoud et al., 2023). Радиочастотные волны являются приемлемым способом обработки из-за их более высокой глубины проникновения и объемных тепловых процессов, которые важны и необходимы для обработки материалов в промышленных масштабах (Oke & Baik, 2022)

Жевательная способность пищи, нагретой радиочастотным излучением, имеет тенденцию уменьшаться с увеличением межэлектродного зазора, но увеличивается с увеличением температуры. Увеличение когезионной

способности приготовленного коричневого риса можно объяснить увеличением прочности межмолекулярных связей охлаждающего крахмала в образцах риса. Аналогично, клейкость рисовых зерен, нагретых радиочастотным излучением, увеличивается с увеличением температуры и скорости воздуха и уменьшается с увеличением межэлектродного зазора. Неорганизованные крахмальные гранулы быстрее гидратируются во время приготовления, проявляя тем самым большую склонность к клейкости. Более длительная радиочастотная обработка вызывает денатурацию белков и желатинизацию крахмала, снижая тенденцию к их связыванию во время приготовления (Mahmood et al., 2023) (Таблица 3). Результаты другого исследования показали, что ни стабильность пенообразования, ни способность к пенообразованию не изменились для образцов, обработанных радиочастотным излучением. Стабильность пенообразования и пенообразующая способность ингредиентов имеют важное значение в производстве продуктов питания, поскольку они способствуют созданию мягкой текстуры пищевых продуктов (Hassan et al., 2019).

Таблица 3
Результаты исследований влияния новых термических технологий на текстурные свойства продовольственного зерна

Способ обработки	Обрабатываемое сырье	Параметры обработки	Результаты обработки	Источник
RF (РЧ-нагрев)	Рис	Горячий воздух и радиочастотный нагрев при температуре 38°C и 42°C, а также соблюдение этих свойств после 6 месяцев хранения	Твердость вареного риса достигла своего максимального значения между 4 и 5 месяцами. Однако клейкость уменьшалась по мере увеличения срока хранения	Chitsuchipakorn and Thanapornpunpong (2023)
IR-нагрев	Рис	Инфракрасную нагревательную пластину устанавливали на мощность 2780 Вт/м ² и давали ей стабилизироваться в течение 20 минут, а рисовые зерна немедленно удаляли при достижении 60°C; затем печь, нагретая до 60°C, для закалки образца риса в течение 4 часов	Упругость образцов риса увеличивается после инфракрасной обработки из-за разрушения молекул крахмала, что увеличивает гидратационную способность и водопоглощение.	Dean et al (2023)
RF (РЧ-нагрев)	Коричневый рис	Исследовано влияние межэлектродного зазора (100, 110, 120 мм), температуры (50°C, 55°C, 60°C) и скорости движения воздуха (0,5, 1,5, 2,5 м/с) на качество риса.	Твердость и клейкость высушенных образцов увеличились после обработки горячим воздухом, однако статистически незначимо по сравнению с образцами, высушенными горячим воздухом.	Mahmoud et al. (2023)
MW (Микроволновой нагрев)	Рис	Образцы, высушенные микроволновой печью, обрабатывались при определенных энергиях в диапазоне от 360 до 630 кДж/кг исходной влажной массы зерна (кДж/кг зерна).	Твердость значительно возрастала с увеличением удельной микроволновой энергии при различной продолжительности хранения образцов. Использование микроволн для сушки свежеобранного риса ускоряет его старение и повышает твердость приготовленного риса, что желательно для потребителей.	Bruce et al (2022)

Окончание Таблицы 3

Способ обработки	Обрабатываемое сырье	Параметры обработки	Результаты обработки	Источник
IR -нагрев	Ячменная мука	Образец выпекали в инфракрасной пищевой печи СК-2 при температуре нижнего нагрева $150 \pm 5^\circ\text{C}$ и температуре верхнего нагрева $170 \pm 5^\circ\text{C}$ в течение 20 мин.	После обработки в дальнейшем инфракрасном диапазоне на поверхности горного ячменя не было трещин, и это не оказывало очевидного эффекта вздутия на зерно высокогорного ячменя.	Dang et al (2022)
Микроволновая обработка	Фасоль	Мощность МВт была установлена на уровне 0,8 Вт/г, а температура горячего воздуха была установлена на уровне 60–80°C.	Органолептические показатели, твердость и липкость сушеных бобов после варки значительно снизились при сушке горячим воздухом MW.	Lee et al (2022)
RF- нагрев	Арахис	Для поддержания конечной температуры арахиса ниже 40°C температура горячего воздуха составляла 35°C, расстояние между электродами составляло 140 мм при скорости воздуха 1,5 м/с.	Арахис, высушенный комбинированным методом, имел лучшие органолептические показатели. Данный метод имеет преимущества для сушки арахиса по сравнению с импульсной вакуумной сушкой и сушкой горячим воздухом.	Xie et al (2022)
IR -нагрев	Чечевичная мука	Образцы подвергались обработке при влажности 25 % в течение 24, 48 и 96 часов, а затем нагревались инфракрасным излучением до температур поверхности 130°C и 150°C.	В частности, комбинированная обработка темперированием и инфракрасным нагревом существенно снизила твердость чечевичной муки	Liu et al (2020)
Микроволновая обработка	Арахисовая паста	Использовались разные мощности обработки 400, 800 и 1200 Вт) и время (4, 4,5, 5 и 5,5 мин).	Реологические свойства арахисовой пасты, предварительно обработанной микроволнами, были лучше по сравнению с промышленным образцом.	Degon et al (2021)

В ходе исследования установлено, что после RF-обработки вязкость нативного кукурузного крахмала значительно увеличилась, что указывает на то, что RF-нагревание увеличивает набухание гранул, что приводит к более быстрой клейстеризации и ретроградации крахмала, одновременно снижая стабильность крахмальной пасты. Кроме того, радиочастотная обработка оказала меньшее влияние на свойства клейстера из кукурузного крахмала, чем на скорость нагрева (Zhou et al., 2023). В гречке, подвергнутой 10-минутной радиочастотной обработке при температуре 100°C, образовывались многочисленные мелкие частицы, что позволяет предположить, что структура зерна стала менее компактной и ее легче разрушить. Радиочастотный нагрев усиливает испарение воды, создавая трещины между молекулами и вызывая структурные изменения. Однако Vicente et al. (2023) обнаружили, что мука, обработанная MW, агрегируется в большие кластеры. Эта разница могла быть вызвана плавлением крахмала во время высоко-

частотного нагревания (Xu et al., 2023). Недавнее исследование показало, что приготовленный рис становится более твердым и менее липким после длительного хранения из-за ферментативных и неферментативных реакций, которые ослабляют структуру клеточной стенки, позволяя образовывать высокобелковые области из-за большей устойчивости к поглощению воды; следовательно, выдержанный рис, приготовленный с меньшим количеством воды, имел более твердую текстуру (Chitsuthipakorn & Thanapornpoonpong, 2023). Текстурные характеристики сушеных пищевых продуктов влияют на их вкус. Хрусткость и твердость зерен арахиса, высушенных естественным путем, значительно выше, чем у зерен, обработанных другими методами сушки, такими как импульсно-вакуумная сушка. Микроструктурный анализ показал, что образцы арахиса, полученные после импульсного вакуума и естественной сушки, имеют плотную тканевую структуру практически без крупных пор, тогда как сушка горячим воздухом и радиоча-

стотная обработка в сочетании с обработкой горячим воздухом привели к образованию более крупных отверствий, что привело к менее твердому материалу. и более хрустящей структуре арахиса. Натуральные, высушенные на солнце зерна арахиса и зерна арахиса, обработанные сочетанием радиочастотного излучения и горячего воздуха, демонстрируют одинаковую жевательную способность без существенных различий. Образцы арахиса, высушенные в импульсном вакууме, демонстрируют самую низкую жевательную способность, показывая, что RF в сочетании с сушкой горячим воздухом приводит к улучшению жевательной способности (Xie et al., 2022). Напротив, увеличение межэлектродного промежутка во время радиочастотной обработки образцов *Lentinus edodes* увеличило диффузию соли, но уменьшило движение воды, что привело к увеличению жесткости (Zhang et al., 2023). Более того, твердость образцов риса первоначально уменьшалась, но впоследствии увеличивалась. Радиочастотная обработка, вероятно, изменяла структуру молекул крахмала в образцах риса и снизила твердость зерна. Кроме того, с повышением температуры амилазная активность образца возрастала, что приводило к гидролизу амилопектина. Поскольку предпочтения потребителей в отношении сенсорного восприятия сушеных продуктов различаются, условия сушки можно регулировать в зависимости от желаемой текстуры.

Микроволновой нагрев (MW)

MW — это неионизирующие электромагнитные лучи с частотой 915 или 2450 МГц, которые взаимодействуют с химическим составом пищевых продуктов и вызывают молекулярное трение, тем самым, приводя к мгновенному выделению тепла (Adebowale et al., 2020; Mahalaxmi et al., 2022). Увеличение мощности МВт сокращает продолжительность сушки и приводит к увеличению размера пор и более хрустящей текстуре зерен сладкой кукурузы (Castillo-Gironés et al., 2021). MW создают молекулярные вибрации, которые могут облегчать взаимодействие между белками и полисахаридами (Li, Wang, Liu и др., 2023). MW-сушка обычно повреждает текстуру пищевых продуктов из-за быстрой передачи массы и тепла. Это может повлиять на текстурные свойства, такие свойства при разжевывании, твердость и липкость (Kutlu et al., 2022; Süfer et al., 2018). Поскольку глютен и крахмал способствуют повышению прочности и твердости пищевых продуктов, обработка MW может улучшить продукты, влияя на клейковинный каркас и управляя свойствами крахмальных полисахаридов сетками клейковины, набуханием крахмальных гранул и MC (Zhou et al., 2021). Кроме того, быстрый перенос воды с поверхности продукта приводит к более низкой объемной плотности, низкой усадке и пористой структуре. Соответственно, продукты, высушенные MW, более

высокие пищевую ценность и органолептические показатели, а также структуру и текстуру, аналогичную жареным продуктам (Castillo-Gironés et al., 2021).

По сравнению с сушкой горячим воздухом, VW-сушка оказывает существенное влияние на упругость фасоли после варки. Жевательная способность, твердость и липкость сушеных бобов после варки были значительно снижены за счет сушки горячим воздухом MW. Это может быть связано с тем, что MW-излучение дестабилизирует кристаллическую структуру фасоли (Li et al., 2022). Недавнее исследование показало, что взаимодействие SPI и соевого масла во время сушки MW помогает снизить скорость связывания между молекулами белка и сформировать структуру композитного геля белок-масло, тем самым приводя к снижению твердости геля. Более того, снижение твердости геля улучшает глотательные свойства SPI (Li, Wang, Liu et al., 2023). Многие исследователи наблюдали увеличение твердости риса, созревшего как традиционным способом, так и ускоренно созревшего с помощью MW. Усиленная ретроградация крахмала при выдержке рисового зерна приводит к увеличению твердости вареного риса. Более того, увеличение количества связей SS в белках во время хранения может укрепить гранулы крахмала в зернах риса, увеличивая твердость риса. Модификации структуры белковых и крахмальных гелей (развитие плотной сети оризениновых гелей) также могут способствовать увеличению твердости приготовленного выдержанного риса. Более того, клейкость всего незрелого риса, высушенного методом MW, существенно увеличивается, что сохраняет более высокую плотность во время жевания (Bruce et al., 2022). Сообщается, что выделение амилозы во время кулинарной обработки приводит к образованию твердой структуры на поверхности образцов киноа во время ретроградации и охлаждения, тем самым увеличивая ее твердость. Кроме того, липкость киноа увеличивается с увеличением продолжительности обработки MW. Более высокая клейкость киноа связана не только с крахмалом, но также с содержанием белков и липидов. Во время термической обработки и термической обработки липиды и белки быстро образуют комплексы с крахмалом, выделяемым из образцов киноа, что приводит к увеличению клейкости и ухудшению качественных показателей. Приготовление привело к образованию пористой внутренней структуры сырого киноа, при этом сухое вещество выщелачивалось во время приготовления, что дополнительно влияло на липкость приготовленной киноа (Cao et al., 2022; Wu et al., 2017). Более того, проникновение воды в зерна киноа во время приготовления приводит к образованию больших полостей и расширению тканей киноа. По мере продолжения приготовления дальнейшее испарение воды приводит к образованию отверстий большего размера. Напротив, MW-обработка приводит к образованию плотных и более однородных пор и структур внутри зерен киноа, тем

самым способствуя образованию сетки гидратного геля крахмала. Эта плотная и твердая структура киноа также может способствовать ее повышенной твердости (рис. 4) (Cao et al., 2022). Также зерна кукурузы, высушенные с использованием вакуумно-MW технологии с короткой предварительной обработкой конвективной сушкой, демонстрируют меньшую когезию (Castillo-Gironés et al., 2021). В другом исследовании установили, что образцы, обработанные MW (20 % и 30 % MC), имели немного более крупные и более упакованные агрегаты, а также некоторую шероховатость на поверхности крахмальных гранул. Для образцов, обработанных MW (25 % MC), этот эффект усиливался, и на поверхности гранул появлялись глубокие отверстия и другие эксудаты, склеивающие гранулы крахмала. Эти эксудаты могут представлять собой амилозу, выделяемую из крахмальных гранул во время обработки MW (Vicente et al., 2023). Пропаренный коричневый рис имеет мягкую текстуру и лучшие характеристики при разжевывании, чем коричневый рис. С точки зрения микроструктуры, пропаривание и последующая MW-сушка выводят влагу наружу, образуя дополнительные воздушные пространства между крахмальными гранулами в пропаренном рисе. Эти внутренние воздушные зазоры увеличивают поглощение воды рисовыми зернами во время приготовления, в результате чего текстура пропаренного риса становится мягкой. Более того, MW-сушка снижает содержание амилозы, не влияя на уровень жира, белка или золы. Поскольку содержание амилозы положительно связано с твердостью риса, снижение содержания амилозы из-за сушки MW влечет за собой повышенную мягкость пропаренного риса (Huang et al., 2021).

Ограничения промышленного применения MW нагрева продовольственного зерна

Образцы риса, обработанные MW, демонстрируют измененную вязкость, показывая, что увеличение обратной вязкости вызывает большую степень ретроградации и приводит к увеличению твердости приготовленного риса (Bruce et al., 2022). Во время MW-выпекания происходит быстрая передача тепла от внутренней части продукта к поверхности. Однако при низких температурах окружающей среды на поверхностях пищевых продуктов может происходить конденсация воды, ингибирующая реакцию Майяра и замедляющая образование корки, что приводит к нежелательным текстурным характеристикам (Chhanwal et al., 2019; De Pilli & Alessandrino, 2018). Негативные эффекты MW-обработки можно свести к минимуму, если подавать электроэнергию ступенчато, так что на начальной фазе сушки применяется более высокая мощность, за которой следует применение пониженной мощности, что приводит к получению продукта более высокого качества. Недостатком этого метода является то, что из-за распро-

странения волн в различных областях при MW-нагреве наблюдаются холодные и горячие точки. Кроме того, из-за небольших изменений сенсорных свойств, вызванных MW-обработкой цельного зерна, необходимо определить потребительскую приемлемость зерновых продуктов, высушенных MW. Что касается влияния MW-сушки на текстуру, быстрая массо- и теплопередача обычно ухудшает текстуру пищевых продуктов. Уровень мощности MW и длительность воздействия существенно влияют на белковые характеристики зерна. В частности, денатурация белка во время обработки MW обнажает гидрофобные и гидрофильные группы на поверхности, тем самым улучшая функциональные свойства и способствуя окончательному формированию вкуса и текстуры пищевых продуктов.

Инфракрасный нагрев (IR)

Методика IR-нагрева предполагает минимизацию продолжительности воздействия электромагнитного излучения на продукты питания с использованием длин волн от 1,8 до 3,4 мкм (Ogundele & Kayitesi, 2019). Эта форма нагрева приводит к тому, что ядро сначала высыхает изнутри к внешней периферии посредством конвекции и излучения, обеспечивая более высокую скорость теплопередачи. IR-сушка сокращает время сушки, повышает энергоэффективность и уменьшает поток воздуха, необходимый для сушки, по сравнению с традиционной сушкой (Timm et al., 2020). Более того, ИК-нагрев может влиять на диссоциацию и ассоциацию биологических макромолекул, тем самым влияя на способность к расширению крахмала и белковую функцию зерен риса (Ding et al., 2023). Быстрый нагрев во время IR-сушки помогает сохранить органолептические показатели и пищевую ценность, в результате чего обезвоженный продукт получается более высокого качества по сравнению с традиционными методами сушки. Когезия и жевательная способность риса, обработанного IR, не так существенны, особенно в условиях хранения при 4 °C, из-за агрегации крахмало-белковых и крахмал-крахмальных частиц. Однако упругость образцов риса увеличивается после IR-обработки из-за распада молекул крахмала, что приводит к увеличению гидратационной способности и водопоглощения рисовых зерен (Ding et al., 2023). Кроме того, IR-нагревание вызывало небольшие морфологические изменения, включая углубления и комкование, в кондиционированном влагой крахмале вигны, тогда как существенные изменения отмечаются в гранулах кукурузного крахмала. Эти изменения в морфологии гранул, влияющие на сенсорные качества, можно объяснить разрыхлением кристаллических областей амилопектина во время нагревания и повторной ассоциацией цепей крахмала (Ouyeyinka et al., 2021). Однако другое исследование показало, что после варки твердость рисовых зерен увеличивалась на 15,79 %

при изменении условий сушки со 100°C/15 мм (38,62 Н) на 130°C/15 мм (44,12 Н). Увеличение глубины слоя и температуры сушки привело к увеличению твердости, образованию белковых комплексов и потемнению вареного зерна, одновременно уменьшая выщелоченную амилозу из образцов риса. Более того, образование белковых комплексов уменьшает выщелачивание твердых веществ во время варки и увеличивает твердость приготовленного риса. Эти условия вызывают нежелательные изменения показателей помола и цвета с увеличением твердости ядра, что является ухудшением органолептических показателей (Timm et al., 2020). IR-обжарка снизила влажность и силу разрушения ядер арахиса, которые становились все более хрупкими и начинали быстрее крошиться. После обжарки арахис становится более хрустящим и менее жестким, что улучшает его текстурные свойства (Golani et al., 2023). После обжарки в дальнем IR-диапазоне на поверхности ячменя высокогорного не наблюдалось трещин, а на зернах ячменя не выявлено явного эффекта вспучивания. Влияние дальнего IR-облучения на набухание зерна зависит от исходной массы влаги (МС) образца. Образцы ячменя с 29,5 % МС, нагретые дальним ИК-светом, показали низкое набухание в поперечном сечении. При высокой МС текстура зерна будет слишком мягкой, что предотвратит резкий сброс давления пара из-за отсутствия барьера давления, что поможет уменьшить набухание (Dang et al., 2022). Текстура ухудшается по мере увеличения времени IR-нагрева вне зависимости от интенсивности нагрева. Аналогично, твердость снижается по мере увеличения продолжительности обработки. Более мягкая текстура достигается при нагревании эдамаме в течение 100 с при низкой и высокой интенсивности IR-нагрева. Твердость обусловлена изменениями пектина и крахмала при термической обработке; некоторые компоненты пектина становятся растворимыми, тем самым размягчая пищевой продукт. Кроме того, размягчение белкового матрикса бобов и разрушение средней пластинки способствуют снижению твердости бобов. Средняя и низкая интенсивность нагрева приводят к одинаковому снижению твердости. Однако при более высокой интенсивности нагрева эдамаме демонстрирует разное поведение из-за быстрого повышения внутренней температуры (Lara et al., 2019). После темпирования изменения когезивности при IR-сушке более очевидны, чем при сушке тепловым насосом, при этом IR-сушка дает наибольшее значение когезионности ($d = 3$) и влияет на структуру крахмала в рисовом зерне. Кроме того, значения упругости и жевательной способности значительно изменились, особенно между незакаленными и закаленными образцами (Zhou et al., 2018). ИК-нагрев при 150 °C привел к более очевидному эффекту размягчения по сравнению с эффектом при 130 °C, что можно объяснить более высокой температурой, вызывающей большее фотодеградацию молекул крахмала в семенах чечевицы (Liu et al., 2020). Энергия сжатия, опреде-

ляемая как количество энергии, необходимой для сжатия образцов, изменилась с 258,08 до 550,08 Нс. Между энергией сжатия и мощностью IR -излучения существует обратная зависимость. При обжаривании ядер арахиса МС уменьшается, образцы становятся более мягкими и хрустящими, а энергия сжатия снижается. Мощность IR обжарки является основным фактором, влияющим на твердость; таким образом, влияние мощности IR -излучения более критично, чем влияние времени воздействия (Bagheri et al., 2019).

Ограничения и перспективы производственного использования IR -нагрева продовольственного зерна

Условия сильной регидратации IR-излучения могут снижать качества зерен риса, увеличить время приготовления и отрицательно влиять на органолептические показатели. В исследовании Timm et al. сообщалось, что увеличение глубины слоя и температуры привело к усилению комплексообразования белка и твердости зерен (Timm et al., 2020). В пищевой промышленности применение методов IR-нагрева и темпирования продовольственного зерна может быть полезным там, где требуется лучшая усвояемость крахмала. Снижение качества и деградацию пищевых компонентов при длительном воздействии IR-излучения можно предотвратить путем периодического применения данного излучения. IR-энергия выделяет большое количества тепла, и более длительное воздействие может привести к ожогам. Так как глубина проникновения внутрь пищевых продуктов ограничена, длительное воздействие IR-излучения, не чувствительного к отражательным характеристикам покрытий, приводит к разрыву тканей. Кроме того, IR-обработка модифицирует вторичную структуру поверхностных белков зерна и изменяет многоуровневую структуру крахмала, тем самым влияя на текстуру и кулинарные свойства, а также способствует стабильности зерна при хранении. В дальнейших исследованиях необходимо изучать технологические параметры и условия хранения цельнозерновой муки, чтобы продлить срок ее хранения, причем исследования в этой области имеют особое значение для разработки цельнозерновых продуктов.

Основные направления будущих исследований

Новые нетермические и термические методы обработки такие как ультразвук (Juodeikiene et al., 2020), холодная плазма (Ding et al., 2022), PEF (Qiu et al., 2021), RF (Oke & Baik, 2022), MW (Mahalaxmi et al., 2022) и IR (Dang et al., 2022) использовались многими исследователями пищевых продуктов для обработки всех типов продоволь-

ственного зерна (зерновых, бобовых и продуктов их переработки). Избыточная мощность ультразвука (500 и 600 Вт) снижает содержание резистентного крахмала, возможно, из-за повреждения кристаллической молекулярной структуры и сильного физического разрушения молекул крахмала (Zhang, Xiao et al., 2021). Увеличение продолжительности воздействия холодной плазмы приводит к увеличению нарушения контура зерновой оболочки, но при этом на поверхности зерновой оболочки не образуются видимые полосы и трещины. Это может быть связано с воздействием на структуру оболочки ядра активных веществ, образующихся в результате низкотемпературной плазменной обработки и окисления, что снижает плоскостность поверхности зерна и изменяет поверхность оболочки ядра (Liu et al., 2022). По сравнению с нативным крахмалом, крахмал, обработанный PEF, имеет более низкое содержание медленно перевариваемого резистентного крахмала (Zeng et al., 2016). Во время выпечки MW происходит быстрая передача тепла изнутри к поверхности продукта. Однако при низкой температуре окружающей среды на поверхности изделия может образовываться конденсат. Следовательно, реакция Майяра не может быть завершена, и образование корки замедляется, что приводит к нежелательным текстурным качествам (Chhanwal et al., 2019; De Pilli & Alessandrino, 2018). Твердость является одним из наиболее важных параметров вкуса вареного риса, и она отрицательно коррелирует со вкусовыми показателями качества (Liu et al., 2020). Результаты исследования показали, что радиочастотная обработка может изменить структуру крахмала в рисе при повышении температуры до 70 °C и повышении активности амилазы в зерне, что приводит к гидролизу амилопектина и увеличению твердости (Yang et al., 2018). В другом исследовании установлено, что текстура ухудшается с увеличением продолжительности IR-обработки, независимо от интенсивности нагрева (Lara et al., 2019). Вместе с тем каждая технология имеет ограничения, влияющие на ее эффективность и производительность. Поэтому влияние процессов на продукцию требует последовательных экспериментальных исследований, которые позволят получить фундаментальные знания и установить конкретные параметры обработки и воздействия. Комбинирование двух или более технологий, таких как вакуумная ультразвуковая обработка (Yang et al., 2021), RF-сушка горячим воздухом с перерывом (Mahmood et al., 2023) и вакуумная MW-сушка (Castillo-Gironés et al., 2021) можно использовать для решения вышеуказанных проблем. Более того, необходимы дальнейшие исследования термических и нетермических методов и их воздействия на структуру пищевых продуктов, чтобы определить весь потенциал этих новых технологий для производства новых продуктов питания с улучшенной индивидуальной текстурой и функциональностью. Оптимизация условий эксплуатации, конструктивных параметров и способов сочетания с другими

технологиями имеет важное значение для предотвращения производственных потерь, снижения выхода некачественного зерна, улучшения внешнего вида сушеной продукции. Большинство нетермических и термических технологий, разработанных для переработки продовольственного зерна в пищевой промышленности, все еще находятся на лабораторных или экспериментальных стадиях. Будущие исследования должны быть сосредоточены на масштабировании этих новых технологий до промышленного масштаба после достаточной валидации. Более того, несмотря на обширные исследования физико-химических свойств и физиологического воздействия зерна, исследования, направленные на изучение влияния методов обработки на сенсорные характеристики зерна, отсутствуют. Таким образом, необходимы дополнительные исследования, поскольку характеристики, предпочитаемые потребителями, такие как текстура, аромат, вкус и восприятие, играют важную роль в определении приемлемости продуктов питания, произведенных с использованием этих новых технологий. Эти факторы также определяют консолидацию методов обработки в цепочке поставок продуктов питания (Rocha et al., 2022).

ВЫВОДЫ

Новые термические и нетермические способы обработки являются экологичной и эффективной альтернативой традиционной химической и термической обработке продовольственного зерна. Обзор результатов научных исследований показал, что помимо безопасности и качества пищевых продуктов, использование новых технологий в большинстве случаев положительно коррелирует с технологическими свойствами продовольственного зерна. Несколько этапов обработки пищевых продуктов способствуют изменению качества текстуры. Изменения химического состава и микроструктуры клеток тканей также вносят значительный вклад в изменение текстуры продовольственного зерна. Обработка ультразвуком разрушает внутренние водородные связи между молекулами белка, тем самым ослабляя их третичную и четвертичную структуры. Кроме того, обработка ультразвуком усиливает гидролиз крахмала и снижает его вязкость. Обработка импульсным электрическим полем может вызывать конфигурационные и молекулярные изменения в биомакромолекулах сырья. В результате радиочастотного нагрева увеличивается набухание гранул, что приводит к более легкой желатинизации и ретроградации крахмала, одновременно снижая стабильность крахмального теста. МВ-нагревание приводит к образованию плотных и более однородных пор и структур внутри образца, тем самым способствуя образованию сетки гидратного геля крахмала. Несмотря на доступную информацию о механизмах новых технологий в области переработки

продовольственного зерна, дальнейшие исследования должны быть сосредоточены на их влиянии на текстуру и пищевую ценность продовольственного зерна. Это не только облегчит понимание влияния технологий обработки на структуру пищевых продуктов, но также будет способствовать принятию учеными и технологами пищевых производств возможных технологий для обработки продовольственного зерна.

ВКЛАД АВТОРОВ

Бурак Л.Ч: концептуализация, методология, проведение исследования, ресурсы, создание рукописи и их редактирование, руководство исследованием, администрирование проекта.

Сапач А.Н: проведение исследования, верификация данных, формальный анализ, создание черновика рукописи, визуализация

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ / REFERENCES

- Adebowale, O. J., Taylor, J. R. N., & de Kock, H. L. (2020). Stabilization of wholegrain sorghum flour and consequent potential improvement of food product sensory quality by microwave treatment of the kernels. *LWT-Food Science and Technology*, 132, 109827. <https://doi.org/10.1016/J.LWT.2020.109827>
- Alpos, M., Leong, S. Y., Liesaputra, V., & Oey, I. (2022). Influence of pulsed electric fields (PEF) with calcium addition on the texture profile of cooked black beans (*Phaseolus vulgaris*) and their particle breakdown during in vivo oral processing. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 75, 102892. <https://doi.org/10.1016/J.IFSET.2021.102892>
- An, N. N., Sun, W. H., Li, B. Z., Wang, Y., Shang, N., Lv, W. Q., Li, D., & Wang, L. J. (2022). Effect of different drying techniques on drying kinetics, nutritional components, antioxidant capacity, physical properties and microstructure of edamame. *Food Chemistry*, 373, 131412. <https://doi.org/10.1016/J.FOODCHEM.2021.131412>
- Andreou, V., Sigala, A., Limnaios, A., Dimopoulos, G., & Taoukis, P. (2021). Effect of pulsed electric field treatment on the kinetics of rehydration, textural properties, and the extraction of intracellular compounds of dried chickpeas. *Journal of Food Science*, 86(6), 2539–2552. <https://doi.org/10.1111/1750-3841.15768>
- Areesirisuk, A., Wanlapa, A., Teeka, J., Kaewpa, D., & Chiu, C. H. (2023). Potential of infrared drying and cell-protective agent efficiency on survival of *Lactobacillus plantarum* probiotic in fermented soybean meal. *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology*, 53, 102843. <https://doi.org/10.1016/J.BCAB.2023.102843>
- Aslam, R., Alam, M. S., Kaur, J., Panayampadan, A. S., Dar, O. I., Kothakota, A., & Pandiselvam, R. (2022). Understanding the effects of ultrasound processing on texture and rheological properties of food. *Journal of Texture Studies*, 53(6), 775–799. <https://doi.org/10.1111/JTXS.12644>
- Aslam, R., Alam, M. S., Singh, S., & Kumar, S. (2021). Aqueous ozone sanitization of whole peeled onion: Process optimization and evaluation of keeping quality during refrigerated storage. *LWT-Food Science and Technology*, 151, 112183. <https://doi.org/10.1016/J.LWT.2021.112183>
- Astráin-Redín, L., Alexandre, M., Raso, J., Cebrián, G., & Álvarez, I. (2021). Direct contact ultrasound in food processing: Impact on food quality. *Frontiers in Nutrition*, 8, 633070. <https://doi.org/10.3389/FNUT.2021.633070>
- Bagheri, H., Kashaninejad, M., Ziaifar, A. M., & Aalami, M. (2019). Textural, color and sensory attributes of peanut kernels as affected by infrared roasting method. *Information Processing in Agriculture*, 6(2), 255–264. <https://doi.org/10.1016/J.INPA.2018.11.001>
- Bahrami, N., Bayliss, D., Chope, G., Penson, S., Perehinec, T., & Fisk, I. D. (2016). Cold plasma: A new technology to modify wheat flour functionality. *Food Chemistry*, 202, 247–253. <https://doi.org/10.1016/J.FOODCHEM.2016.01.113>
- Bai, T. G., Zhang, L., Qian, J. Y., Jiang, W., Wu, M., Rao, S. Q., Li, Q., Zhang, C., & Wu, C. (2021). Pulsed electric field pretreatment modifying digestion, texture, structure and flavor of rice. *LWT-Food Science and Technology*, 138, 110650. <https://doi.org/10.1016/J.LWT.2020.110650>
- Barbhuiya, R. I., Singha, P., & Singh, S. K. (2021). A comprehensive review on impact of non-thermal processing on the structural changes of food components. *Food Research International*, 149, 110647. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2021.110647>
- Barman, D., & Dkhar, M. S. (2015). Amylolytic activity and its parametric optimization of an endophytic bacterium *Bacillus subtilis* with an ethno-medicinal origin. *Biologia*, 70(3), 283–293. <https://doi.org/10.1515/BIOLOG-2015-0047/METRICS>
- Bassey, E. J., Cheng, J. H., & Sun, D. W. (2022). Improving drying kinetics, physicochemical properties and bioactive compounds of red dragon fruit (*Hylocereus* species) by novel infrared drying. *Food Chemistry*, 375, 131886. <https://doi.org/10.1016/J.FOODCHEM.2021.131886>
- Boateng, I. D. (2022). Recent processing of fruits and vegetables using emerging thermal and non-thermal technologies. A critical review of their potentialities and limitations on bioactives,

- structure, and drying performance. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 1–35. <https://doi.org/10.1080/10408398.2022.2140121>
- Bonto, A. P., Tiozon, R. N., Sreenivasulu, N., & Camacho, D. H. (2021). Impact of ultrasonic treatment on rice starch and grain functional properties: A review. *Ultrasonics Sonochemistry*, 71, 105383. <https://doi.org/10.1016/J.ULTSONCH.2020.105383>
- Bruce, R. M., Atungulu, G. G., Sadaka, S., & Mauromoustakos, A. (2022). Aging characteristics of rice dried using microwave at 915 MHz frequency. *Cereal Chemistry*, 99(6), 1218–1233. <https://doi.org/10.1002/CCHE.10584>
- Burak, L. Ch., & Sapach A.N. (2023) The influence of pre-treatment with a pulsed electric field on the drying process: Scoping review. *Storage and processing of Farm Products*, (2), 44–71. <https://doi.org/10.36107/spfp.2023.418>
- Cao, G., Chen, X., Hu, B., Yang, Z., Wang, M., Song, S., Wang, L., & Wen, C. (2023). Effect of ultrasound-assisted resting on the quality of surimi-wheat dough and noodles. *Ultrasonics Sonochemistry*, 94, 106322. <https://doi.org/10.1016/J.ULTSONCH.2023.106322>
- Cao, H., Sun, R., Liu, Y., Wang, X., Guan, X., Huang, K., & Zhang, Y. (2022). Appropriate microwave improved the texture properties of quinoa due to starch gelatinization from the destructed cyptomere structure. *Food Chemistry: X*, 14, 100347. <https://doi.org/10.1016/J.FOCHX.2022.100347>
- Carullo, D., Abera, B. D., Scognamiglio, M., Donsì, F., Ferrari, G., & Pataro, G. (2022). Application of pulsed electric fields and high-pressure homogenization in biorefinery cascade of *C. vulgaris* microalgae. *Foods*, 11(3), 471. <https://doi.org/10.3390/FOODS11030471>
- Castillo-Gironés, S., Masztalerz, K., Lech, K., Issa-Issa, H., Figiel, A., & Carbonell-Barrachina, A. A. (2021). Impact of osmotic dehydration and different drying methods on the texture and sensory characteristic of sweet corn kernels. *Journal of Food Processing and Preservation*, 45(4), e15383. <https://doi.org/10.1111/JFPP.15383>
- Chen, G., Dong, S., Zhao, S., Li, S., & Chen, Y. (2019). Improving functional properties of zein film via compositing with chitosan and cold plasma treatment. *Industrial Crops and Products*, 129, 318–326. <https://doi.org/10.1016/J.INDCROP.2018.11.072>
- Chen, Y., Zhang, Y., Jiang, L., Chen, G., Yu, J., Li, S., & Chen, Y. (2020). Moisture molecule migration and quality changes of fresh wet noodles dehydrated by cold plasma treatment. *Food Chemistry*, 328, 127053. <https://doi.org/10.1016/J.FOODCHEM.2020.127053>
- Chhanwal, N., Bhushette, P. R., & Anandharamakrishnan, C. (2019). Current perspectives on non-conventional heating ovens for baking process—A review. *Food and Bioprocess Technology*, 12(1), 1–15. <https://doi.org/10.1007/S11947-018-2198-Y/METRICS>
- Chitsuthipakorn, K., & Thanapornpoonpong, S. (2023). Verification of rice quality during storage after drying with hot air and radio frequency heating. *Food Chemistry: X*, 20, 100882. <https://doi.org/10.1016/J.FOCHX.2023.100882>
- Chung, H. J., Cho, D. W., Park, J. D., Kweon, D. K., & Lim, S. T. (2012). In vitro starch digestibility and pasting properties of germinated brown rice after hydrothermal treatments. *Journal of Cereal Science*, 56(2), 451–456. <https://doi.org/10.1016/J.JCS.2012.03.010>
- Di Rosa, D. A. R., Bressan, F., Leone, F., Falqui, L., & Chiofalo, V. (2019). Radio frequency heating on food of animal origin: A review. *European Food Research and Technology*, 245(9), 1787–1797. <https://doi.org/10.1007/S00217-019-03319-8/METRICS>
- Dang, B., Zhang, W. G., Zhang, J., Yang, X. J., & Xu, H. D. (2022). Effect of thermal treatment on the internal structure, physicochemical properties and storage stability of whole grain highland barley flour. *Foods*, 11(14), 2021. <https://doi.org/10.3390/FOODS11142021>
- Degon, J. G., Zheng, C., Elkhedir, A., Yang, B., Zhou, Q., & Li, W. (2021). Effect of microwave pre-treatment on physical quality, bioactive compounds, safety risk factor, and storage stability of peanut butter. *Oil Crop Science*, 6(3), 137–144. <https://doi.org/10.1016/J.OCSCI.2021.07.006>
- De Pilli, T., & Alessandrino, O. (2018). Effects of different cooking technologies on biopolymers modifications of cereal-based foods: Impact on nutritional and quality characteristics review. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 60(4), 556–565. <https://doi.org/10.1080/10408398.2018.1544884>
- Devraj, L., Natarajan, V., Vadakkeppulpara Ramachandran, S., Manicakam, L., & Sarvanan, S. (2020). Influence of microwave heating as accelerated aging on physicochemical, texture, pasting properties, and microstructure in brown rice of selected Indian rice varieties. *Journal of Texture Studies*, 51(4), 663–679. <https://doi.org/10.1111/JTXS.12522>
- Ding, C., Chang, L., Luo, Y., Tao, T., Atungulu, G. G., Ding, H., Huang, L., Simelane, M. B., Zhao, S., & Liu, Q. (2023). Influence of cooking and texture attributes of far infrared radiated Japonica rice during storage. *Journal of Cereal Science*, 112, 103710. <https://doi.org/10.1016/J.JCS.2023.103710>
- Ding, J., Hou, G. G., Dong, M., Xiong, S., Zhao, S., & Feng, H. (2018). Physicochemical properties of germinated dehulled rice flour and energy requirement in germination as affected by ultrasound treatment. *Ultrasonics Sonochemistry*, 41, 484–491. <https://doi.org/10.1016/J.ULTSONCH.2017.10.010>
- Ding, T., Cullen, P. J., & Yan, W. (2022). Applications of cold plasma in food safety. In *Applications of cold plasma in food safety*. Springer. <https://doi.org/10.1007/978-981-16-1827-7/COVER>
- Duque, S. M. M., Leong, S. Y., Agyei, D., Singh, J., Larsen, N., Sutton, K., & Oey, I. (2022). Understanding the mechanism of how pulsed electric fields treatment affects the digestibility and characteristics of starch in oat flour. *Applied Sciences*, 12(20), 10293. <https://doi.org/10.3390/APP122010293>

- Flores-Silva, P. C., Roldan-Cruz, C. A., Chavez-Esquivel, G., Vernon-Carter, E. J., Bello-Perez, L. A., & Alvarez-Ramirez, J. (2017). In vitro digestibility of ultrasound-treated corn starch. *Starch-Stärke*, 69(9–10), 1700040. <https://doi.org/10.1002/STAR.201700040>
- Gao, J., Wu, M., Du, S., Zhang, H., Wang, S., & Ling, B. (2023). Recent advances in food processing by radio frequency heating techniques: A review of equipment aspects. *Journal of Food Engineering*, 357, 111609. <https://doi.org/10.1016/J.JFOODENG.2023.111609>
- Gebremical, G. G., Emire, S. A., & Berhanu, T. (2019). Effects of multihollow surface dielectric barrier discharge plasma on chemical and antioxidant properties of peanut. *Journal of Food Quality*, 2019, 1–10. <https://doi.org/10.1155/2019/3702649>
- Geng, D. H., Lin, Z., Liu, L., Qin, W., Wang, A., Wang, F., & Tong, L. T. (2021). Effects of ultrasound-assisted cellulase enzymatic treatment on the textural properties and in vitro starch digestibility of brown rice noodles. *LWT-Food Science and Technology*, 146, 111543. <https://doi.org/10.1016/J.LWT.2021.111543>
- Golani, R., Leishangthem, C., Xiao, H., Zhang, Q., & Sutar, P. P. (2023). Effect of high temperature short time infrared roasting of peanuts. *Journal of Future Foods*, 4(2), 173–178. <https://doi.org/10.1016/J.JFUTFO.2023.06.009>
- Gong, X., Chen, Z., Hu, J. J., & Liu, C. (2022). Advances of electroporation-related therapies and the synergy with immunotherapy in cancer treatment. *Vaccines*, 10(11), 1942. <https://doi.org/10.3390/VACCINES10111942>
- Guiyun, C., Yushan, W., Mingyue, Z., Wanxing, M., Xixian, X., & Ye, C. (2022). Cold atmospheric plasma treatment improves the γ -aminobutyric acid content of buckwheat seeds providing a new anti-hypertensive functional ingredient. *Food Chemistry*, 388, 133064. <https://doi.org/10.1016/J.FOODCHEM.2022.133064>
- Hassan, A. B., von Hoersten, D., & Mohamed Ahmed, I. A. (2019). Effect of radio frequency heat treatment on protein profile and functional properties of maize grain. *Food Chemistry*, 271, 142–147. <https://doi.org/10.1016/J.FOODCHEM.2018.07.190>
- Homayoonfal, M., & Malekjani, N. (2023). Drying of cereal grains and beans. In *Drying technology in food processing* (pp. 459–489). Woodhead Publishing. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-819895-7.00009-2>
- Hong, J., An, D., Liu, C., Li, L., Han, Z., Guan, E., Xu, B., Zheng, X., & Bian, K. (2020). Rheological, textural, and digestible properties of fresh noodles: Influence of starch esterified by conventional and pulsed electric field-assisted dual technique with full range of amylose content. *Journal of Food Processing and Preservation*, 44(8), e14567. <https://doi.org/10.1111/JFPP.14567>
- Huang, W., Song, E., Lee, D., Seo, S., Lee, J., Jeong, J., Chang, Y. H., Lee, Y. M., & Hwang, J. (2021). Characteristics of functional brown rice prepared by parboiling and microwave drying. *Journal of Stored Products Research*, 92, 101796. <https://doi.org/10.1016/J.JSPR.2021.101796>
- International Grain Council (IGC). (2023). <https://www.igc.int/en/default.aspx>
- Jarén, C., López, A., & Arazuri, S. (2016). Advanced analytical techniques for quality evaluation of potato and its products. In *Advances in potato chemistry and technology* (pp. 563–602). Academic Press. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-800002-1.00019-4>
- Ji, W., Li, M., Yang, T., Li, H., Li, W., Wang, J., & Ma, M. (2022). Effect of cold plasma on physical–biochemical properties and nutritional components of soybean sprouts. *Food Research International*, 161, 111766. <https://doi.org/10.1016/J.FOODRES.2022.111766>
- Ji, X., Xiong, Y. L., & Jiang, J. (2023). Tunable rice protein–starch composite soft gels: Structural role of ultrasound-modified protein. *Food Hydrocolloids*, 148, 109462. <https://doi.org/10.1016/J.FOODHYD.2023.109462>
- Jiao, Y., Tang, J., Wang, Y., & Koral, T. L. (2018). Radio-frequency applications for food processing and safety. *Annual Review of Food Science and Technology*, 9, 105–127. <https://doi.org/10.1146/ANNUREV-FOOD-041715-033038>
- Jimoh, K. A., Hashim, N., Shamsudin, R., Man, H. C., Jahari, M., & Onwude, D. I. (2023). Recent advances in the drying process of grains. *Food Engineering Reviews*, 15(3), 548–576. <https://doi.org/10.1007/S12393-023-09333-7/FIGURES/1>
- Juodeikiene, G., Zadeike, D., Trakselyte-Rupsiene, K., Gasauskaite, K., Bartkiene, E., Lele, V., Viskelis, P., Bernatoniene, J., Ivanauskas, L., & Jakstas, V. (2020). Functionalisation of flaxseed proteins assisted by ultrasonication to produce coatings enriched with raspberries phytochemicals. *LWT-Food Science and Technology*, 124, 109180. <https://doi.org/10.1016/J.LWT.2020.109180>
- Kariman, M., Tabarsa, F., Zamani, S., Kashi, P. A., & Torshizi, M. V. (2019). Classification of the energy and exergy of microwave dryers in drying kiwi using artificial neural networks. *Carpathian Journal of Food Science and Technology*, 11(2), 29–45.
- Kong, X. (2019). Starches modified by nonconventional techniques and food applications. In *Starches for food application: Chemical, technological and health properties* (pp. 271–295). Academic Press. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-809440-2.00007-1>
- Kutlu, N., Pandiselvam, R., Saka, I., Kamiloglu, A., Sahni, P., & Kothakota, A. (2022). Impact of different microwave treatments on food texture. *Journal of Texture Studies*, 53(6), 709–736. <https://doi.org/10.1111/JTXS.12635>
- Lara, L. M., Wilson, S. A., Chen, P., & Atungulu, G. G. (2019). The effects of infrared treatment on physicochemical characteristics of vegetable soybean. *Heliyon*, 5(1), e01148. <https://doi.org/10.1016/J.HELİYON.2019.E01148>
- Lee, C. M., & Resurreccion, A. V. A. (2006). Predicting sensory attribute intensities and consumer acceptance of stored

- roasted peanuts using instrumental measurements. *Journal of Food Quality*, 29(4), 319–338. <https://doi.org/10.1111/J.1745-4557.2006.00076.X>
- Li, A., Guo, Z., Wang, Z., Yang, Q., Wen, L., Xiang, X., & Kan, J. (2023). Effect of multiple-frequency ultrasound-assisted transglutaminase dual modification on the structural, functional characteristics and application of Qingke protein. *Ultrasonics Sonochemistry*, 94, 106317. <https://doi.org/10.1016/J.ULTSONCH.2023.106317>
- Li, M., Wang, B., Lv, W., Lin, R., & Zhao, D. (2022). Characterization of pre-gelatinized kidney bean (*Phaseolus vulgaris* L.) produced using microwave hot-air flow rolling drying technique. *LWT-Food Science and Technology*, 154, 112673. <https://doi.org/10.1016/J.LWT.2021.112673>
- Li, Q., Wu, Q. Y., Jiang, W., Qian, J. Y., Zhang, L., Wu, M., Rao, S. Q., & Wu, C. S. (2019). Effect of pulsed electric field on structural properties and digestibility of starches with different crystalline type in solid state. *Carbohydrate Polymers*, 207, 362–370. <https://doi.org/10.1016/J.CARBPOL.2018.12.001>
- Li, Y., Wang, J. H., Han, Y., Yue, F. H., Zeng, X. A., Chen, B. R., Zeng, M. Q., Woo, M. W., & Han, Z. (2023). The effects of pulsed electric fields treatment on the structure and physicochemical properties of dialdehyde starch. *Food Chemistry*, 408, 135231. <https://doi.org/10.1016/J.FOODCHEM.2022.135231>
- Li, Y., Wang, S., Liu, X., Zhao, G., Yang, L., Zhu, L., & Liu, H. (2023). Improvement in texture and color of soy protein isolate gel containing capsorubin and carotenoid emulsions following microwave heating. *Food Chemistry*, 428, 136743.
- Li, Y., Zhang, Y., Liu, X., Wang, H., & Zhang, H. (2019). Effect of ultrasound-assisted freezing on the textural characteristics of dough and the structural characterization of wheat gluten. *Journal of Food Science and Technology*, 56(7), 3380–3390. <https://doi.org/10.1007/S13197-019-03822-6/METRICS>
- Lian, F., Sun, D. W., Cheng, J. H., & Ma, J. (2022). Improving modification of structures and functionalities of food macromolecules by novel thermal technologies. *Trends in Food Science & Technology*, 129, 327–338. <https://doi.org/10.1016/J.TIFS.2022.10.001>
- Liang, Y., Teng, F., He, M., Jiang, L., Yu, J., Wang, X., Li, Y., & Wang, Z. (2021). Effects of ultrasonic treatment on the structure and rehydration peculiarity of freeze-dried soy protein isolate gel. *Food Structure*, 28, 100169. <https://doi.org/10.1016/J.FOOSTR.2020.100169>
- Ling, B., Cheng, T., & Wang, S. (2020). Recent developments in applications of radio frequency heating for improving safety and quality of food grains and their products: A review. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 60(15), 2622–2642. <https://doi.org/10.1080/10408398.2019.1651690>
- Liu, J., Wang, R., Chen, Z., & Li, X. (2021). Effect of cold plasma treatment on cooking, thermomechanical and surface structural properties of Chinese milled rice. *Food and Bioprocess Technology*, 14(5), 866–886. <https://doi.org/10.1007/S11947-021-02614-1/METRICS>
- Liu, S., He, T., Rafique, H., Zou, L., & Hu, X. (2022). Effect of low-temperature plasma treatment on the microbial inactivation and physicochemical properties of the oat grain. *Cereal Chemistry*, 99(6), 1373–1382. <https://doi.org/10.1002/CCHE.10599>
- Liu, S., Yin, H., Pickard, M., & Ai, Y. (2020). Influence of infrared heating on the functional properties of processed lentil flours: A study focusing on tempering period and seed size. *Food Research International*, 136, 109568. <https://doi.org/10.1016/J.FOODRES.2020.109568>
- Luo, X. E., Wang, R. Y., Wang, J. H., Li, Y., Luo, H. N., Zeng, X. A., Woo, M. W., & Han, Z. (2023). Combining pulsed electric field and cross-linking to enhance the structural and physicochemical properties of corn porous starch. *Food Chemistry*, 418, 135971. <https://doi.org/10.1016/J.FOODCHEM.2023.135971>
- Mahalaxmi, S., Himashree, P., Malini, B., & Sunil, C. K. (2022). Effect of microwave treatment on the structural and functional properties of proteins in lentil flour. *Food Chemistry Advances*, 1, 100147. <https://doi.org/10.1016/J.FOCHA.2022.100147>
- Mahendran, R., Kavitha Abirami, C. V., & Alagusundaram, K. (2017). Cold plasma technology: An emerging non-thermal processing of foods—A review. In *Engineering interventions in agricultural processing* (pp. 33–55). Apple Academic Press. <https://doi.org/10.1201/9781315207377-2>
- Mahmood, N., Liu, Y., Munir, Z., Zhang, Y., & Niazi, B. M. K. (2022). Effects of hot air assisted radio frequency drying on heating uniformity, drying characteristics and quality of paddy. *LWT-Food Science and Technology*, 158, 113131. <https://doi.org/10.1016/J.LWT.2022.113131>
- Mahmood, N., Liu, Y., Saleemi, M. A., Munir, Z., Zhang, Y., & Saeed, R. (2023). Investigation of physicochemical and textural properties of brown rice by hot air assisted radio frequency drying. *Food and Bioprocess Technology*, 16(7), 1555–1569. <https://doi.org/10.1007/S11947-023-03001-8/METRICS>
- Mazi, B. G., Yıldız, D., & Barutçu Mazi, I. (2023). Influence of different soaking and drying treatments on anti-nutritional composition and technological characteristics of red and green lentil (*Lens culinaris* Medik.) flour. *Journal of Food Measurement and Characterization*, 17(4), 3625–3643. <https://doi.org/10.1007/S11694-023-01906-8>
- Meurer, M. C., de Souza, D., & Ferreira Marczak, L. D. (2020). Effects of ultrasound on technological properties of chickpea cooking water (aquafaba). *Journal of Food Engineering*, 265, 109688. <https://doi.org/10.1016/J.JFOODENG.2019.109688>
- Miano, A. C., Ibarz, A., & Augusto, P. E. D. (2016). Mechanisms for improving mass transfer in food with ultrasound technology: Describing the phenomena in two model cases. *Ultrasonics Sonochemistry*, 29, 413–419. <https://doi.org/10.1016/J.ULTSONCH.2015.10.020>

- Miano, A. C., Ibarz, A., & Augusto, P. E. D. (2017). Ultrasound technology enhances the hydration of corn kernels without affecting their starch properties. *Journal of Food Engineering*, 197, 34–43. <https://doi.org/10.1016/J.JFOODENG.2016.10.024>
- Munekata, P. E. S., Domínguez, R., Pateiro, M., & Lorenzo, J. M. (2020). Influence of plasma treatment on the polyphenols of food products—A review. *Foods*, 9(7), 929. <https://doi.org/10.3390/FOODS9070929>
- Nath, K. G., Pandiselvam, R., & Sunil, C. K. (2023). High-pressure processing: Effect on textural properties of food – A review. *Journal of Food Engineering*, 351, 111521. <https://doi.org/10.1016/J.JFOODENG.2023.111521>
- Nwachukwu, I. D., & Aluko, R. E. (2021). CHAPTER 1: Food Protein Structures, Functionality and Product Development. In C. C. Udenigwe (Ed.), *Nutritional Signaling Pathway Activities in Obesity and Diabetes* (27 ed., pp. 1–33). (Food Chemistry, Function and Analysis; Vol. 2021-January, No. 27). Royal Society of Chemistry. <https://doi.org/10.1039/9781839163425-00001>
- Oey, I., Duvetter, T., Sila, D. N., Van Eylen, D., Van Loey, A., & Hendrickx, M. (2008). High pressure processing to optimise the quality of in-pack processed fruit and vegetables. In *In-pack processed foods: Improving quality* (pp. 338–357). Elsevier. <https://doi.org/10.1533/9781845694692.4.338>
- Ogundele, O. M., & Kayitesi, E. (2019). Influence of infrared heating processing technology on the cooking characteristics and functionality of African legumes: A review. *Journal of Food Science and Technology*, 56(4), 1669. <https://doi.org/10.1007/S13197-019-03661-5>
- Oke, A. B., & Baik, O. D. (2022). Role of moisture content, temperature, and frequency on dielectric behaviour of red lentil and Kabuli chickpea in relation to radio frequency heating. *Applied Food Research*, 2(1), 100046. <https://doi.org/10.1016/J.AFRES.2022.100046>
- Oyeyinka, S. A., Oyedeji, A. B., Ogundele, O. M., Adebo, O. A., Njobeh, P. B., & Kayitesi, E. (2021). Infrared heating under optimized conditions enhanced the pasting and swelling behaviour of cowpea starch. *International Journal of Biological Macromolecules*, 184, 678–688. <https://doi.org/10.1016/J.IJBIOMAC.2021.06.129>
- Pan, C., Ishizaki, S., Nagashima, Y., & Watabe, S. (2019). Functional and structural properties of red color-related pigment-binding protein from the shell of *Litopenaeus vannamei*. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 99(4), 1719–1727. <https://doi.org/10.1002/JSFA.9361>
- Pandiselvam, R., Kothakota, A., & Manikantan, M. R. (2022). Food processing and implications to the textural, structural, and rheological characteristics of food. *Journal of Texture Studies*, 53(6), 707–708. <https://doi.org/10.1111/JTXS.12732>
- Pandiselvam, R., Singh, A., Agriopoulou, S., Sachadyn-Król, M., Aslam, R., Gonçalves Lima, C. M., Khanashyam, A. C., Kothakota, A., Atakan, O., Kumar, M., Mathanghi, S. K., & Mousavi Khaenegah, A. (2022). A comprehensive review of impacts of ozone treatment on textural properties in different food products. *Trends in Food Science & Technology*, 127, 74–86. <https://doi.org/10.1016/J.TIFS.2022.06.008>
- Pandiselvam, R., Tak, Y., Olum, E., Sujayasree, O. J., Tekgül, Y., Çalışkan Koç, G., Kaur, M., Nayi, P., Kothakota, A., & Kumar, M. (2022). Advanced osmotic dehydration techniques combined with emerging drying methods for sustainable food production: Impact on bioactive components, texture, color, and sensory properties of food. *Journal of Texture Studies*, 53(6), 737–762. <https://doi.org/10.1111/JTXS.12643>
- Paramita, V. D., Panyoyai, N., & Kasapis, S. (2020). Molecular functionality of plant proteins from low- to high-solid systems with ligand and co-solute. *International Journal of Molecular Sciences*, 21(7), 2550. <https://doi.org/10.3390/IJMS21072550>
- Pu, H., Wei, J., Wang, L., Huang, J., Chen, X., Luo, C., Liu, S., & Zhang, H. (2017). Effects of potato/wheat flours ratio on mixing properties of dough and quality of noodles. *Journal of Cereal Science*, 76, 236–242. <https://doi.org/10.1016/J.JCS.2017.06.020>
- Qiu, S., Abbaspourrad, A., & Padilla-Zakour, O. I. (2021). Changes in the glutinous rice grain and physicochemical properties of its starch upon moderate treatment with pulsed electric field. *Foods*, 10(2), 395. <https://doi.org/10.3390/FOODS10020395>
- Rahman, M. M., & Lamsal, B. P. (2023). Effects of atmospheric cold plasma and high-power sonication on rheological and gelling properties of mung bean protein dispersions. *Food Research International*, 163, 112265. <https://doi.org/10.1016/J.FOODRES.2022.112265>
- Rocha, C. S., Magnani, M., de Paiva Anciêns Ramos, G. L., Bezerril, F. F., Freitas, M. Q., Cruz, A. G., & Pimentel, T. C. (2022). Emerging technologies in food processing: Impacts on sensory characteristics and consumer perception. *Current Opinion in Food Science*, 47, 100892. <https://doi.org/10.1016/J.COFS.2022.100892>
- Roknul, A. S. M., Zhang, M., Mujumdar, A. S., & Wang, Y. (2014). A comparative study of four drying methods on drying time and quality characteristics of stem lettuce slices (*Lactuca sativa* L.). *Drying Technology*, 32(6), 657–666. <https://doi.org/10.1080/07373937.2013.850435>
- Sakare, P., Prasad, N., Thombare, N., Singh, R., & Sharma, S. C. (2020). Infrared drying of food materials: Recent advances. *Food Engineering Reviews*, 12(3), 381–398. <https://doi.org/10.1007/S12393-020-09237-W/METRICS>
- Sakudo, A., Yagyu, Y., & Onodera, T. (2019). Disinfection and sterilization using plasma technology: Fundamentals and future perspectives for biological applications. *International Journal of Molecular Sciences*, 20(20), 5216. <https://doi.org/10.3390/IJMS20205216>
- Sarangapani, C., Yamuna Devi, R., Thirumdas, R., Trimukhe, A. M., Deshmukh, R. R., & Annapure, U. S. (2017). Physico-chemical properties of low-pressure plasma treated black gram. *LWT—*

- Food Science and Technology*, 79, 102–110. <https://doi.org/10.1016/J.LWT.2017.01.017>
- Shams, R., Manzoor, S., Shabir, I., Dar, A. H., Dash, K. K., Srivastava, S., Pandey, V. K., Bashir, I., & Khan, S. A. (2023). Pulsed electric field-induced modification of proteins: A comprehensive review. *Food and Bioprocess Technology*, 2023, 1–33. <https://doi.org/10.1007/S11947-023-03117-X>
- Shanker, M. A., Khanashyam, A. C., Pandiselvam, R., Joshi, T. J., Thomas, P. E., Zhang, Y., Rustagi, S., Bharti, S., Thirumdas, R., Kumar, M., & Kothakota, A. (2023). Implications of cold plasma and plasma activated water on food texture—A review. *Food Control*, 151, 109793. <https://doi.org/10.1016/J.FOODCONT.2023.109793>
- Shen, L., Zhu, Y., Wang, L., Liu, C., Liu, C., & Zheng, X. (2019). Improvement of cooking quality of germinated brown rice attributed to the fissures caused by microwave drying. *Journal of Food Science and Technology*, 56(5), 2737–2749. <https://doi.org/10.1007/S13197-019-03765-Y>
- Sridhar, K., Bouhallab, S., Croguennec, T., Renard, D., & Lechevalier, V. (2022). Application of high-pressure and ultrasound technologies for legume proteins as wall material in microencapsulation: New insights and advances. *Trends in Food Science & Technology*, 127, 49–62. <https://doi.org/10.1016/J.TIFS.2022.07.006>
- Süfer, Ö., Demir, H., & Sezer, S. (2018). Convective and microwave drying of onion slices regarding texture attributes. *Czech Journal of Food Sciences*, 36(2), 187–193. <https://doi.org/10.17221/310/2017-CJFS>
- Thirumdas, R., Saragapani, C., Ajinkya, M. T., Deshmukh, R. R., & Annapure, U. S. (2016). Influence of low pressure cold plasma on cooking and textural properties of brown rice. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 37, 53–60. <https://doi.org/10.1016/J.IFSET.2016.08.009>
- Timm, N. d. S., Lang, G. H., Ferreira, C. D., Pohndorf, R. S., & de Oliveira, M. (2020). Infrared radiation drying of parboiled rice: Influence of temperature and grain bed depth in quality aspects. *Journal of Food Process Engineering*, 43(4), e13375. <https://doi.org/10.1111/JFPE.13375>
- Trung, P. T. B., Ngoc, L. B. B., Hoa, P. N., Tien, N. N. T., & Hung, P. V. (2017). Impact of heat-moisture and annealing treatments on physicochemical properties and digestibility of starches from different colored sweet potato varieties. *International Journal of Biological Macromolecules*, 105, 1071–1078. <https://doi.org/10.1016/J.IJBIOMAC.2017.07.131>
- Vicente, A., Villanueva, M., Caballero, P. A., Muñoz, J. M., & Ronda, F. (2023). Buckwheat grains treated with microwave radiation: Impact on the techno-functional, thermal, structural, and rheological properties of flour. *Food Hydrocolloids*, 137, 108328. <https://doi.org/10.1016/J.FOODHYD.2022.108328>
- Wang, M. S., Wang, L. H., Bekhit, A. E. D. A., Yang, J., Hou, Z. P., Wang, Y. Z., Dai, Q. Z., & Zeng, X. A. (2018). A review of sublethal effects of pulsed electric field on cells in food processing. *Journal of Food Engineering*, 223, 32–41. <https://doi.org/10.1016/J.JFOODENG.2017.11.035>
- Wu, G., Morris, C. F., & Murphy, K. M. (2017). Quinoa starch characteristics and their correlations with the texture profile analysis (TPA) of cooked quinoa. *Journal of Food Science*, 82(10), 2387–2395. <https://doi.org/10.1111/1750-3841.13848>
- Xie, Y., Lin, Y., Li, X., Yang, H., Han, J., Shang, C., Li, A., Xiao, H., & Lu, F. (2022). Peanut drying: Effects of various drying methods on drying kinetic models, physicochemical properties, germination characteristics, and microstructure. *Information Processing in Agriculture*, 10(4), 447–458. <https://doi.org/10.1016/J.INPA.2022.04.004>
- Xu, J., Yang, G., Zhou, D., Fan, L., Xu, Y., Guan, X., Li, R., & Wang, S. (2023). Effect of radio frequency energy on buckwheat quality: An insight into structure and physicochemical properties of protein and starch. *International Journal of Biological Macromolecules*, 251, 126428. <https://doi.org/10.1016/J.IJBIOMAC.2023.126428>
- Yang, C., Zhao, Y., Tang, Y., Yang, R., Yan, W., & Zhao, W. (2018). Radio frequency heating as a disinfection method against *Corcyra cephalonica* and its effect on properties of milled rice. *Journal of Stored Products Research*, 77, 112–121. <https://doi.org/10.1016/J.JSPR.2018.04.004>
- Yang, Y., Zhou, Y., Lyu, Y., Shao, B., & Xu, Y. (2023). High-throughput multitarget quantitative assay to profile the whole grain-specific phytochemicals alkylresorcinols, benzoxazinoids and avenanthramides in whole grain and grain-based foods. *Food Chemistry*, 426, 136663. <https://doi.org/10.1016/J.FOODCHEM.2023.136663>
- Yang, Z. H., Zhou, H. M., & Bai, Y. P. (2021). Effects of vacuum ultrasonic treatment on the texture of vegetarian meatloaves made from textured wheat protein. *Food Chemistry*, 361, 130058. <https://doi.org/10.1016/J.FOODCHEM.2021.130058>
- Zambelli, R. A., Galvão, A. M. M. T., de Mendonça, L. G., Leão, M. V. d. S., Carneiro, S. V., Lima, A. C. S., & Melo, C. A. L. (2018). Effect of different levels of acetic, citric and lactic acid in the cassava starch modification on physical, rheological, thermal and microstructural properties. *Food Science and Technology Research*, 24(4), 747–754.
- Zeng, F., Gao, Q. Y., Han, Z., Zeng, X. A., & Yu, S. J. (2016). Structural properties and digestibility of pulsed electric field treated waxy rice starch. *Food Chemistry*, 194, 1313–1319. <https://doi.org/10.1016/J.FOODCHEM.2015.08.104>
- Zhang, B., Tan, C., Zou, F., Sun, Y., Shang, N., & Wu, W. (2022). Impacts of cold plasma technology on sensory, nutritional and safety quality of food: A review. *Foods*, 11(18), 2818. <https://doi.org/10.3390/FOODS11182818>
- Zhang, B., Xiao, Y., Wu, X., Luo, F., Lin, Q., & Ding, Y. (2021). Changes in structural, digestive, and rheological properties of corn, potato, and pea starches as influenced by different ultrasonic

- treatments. *International Journal of Biological Macromolecules*, 185, 206–218. <https://doi.org/10.1016/J.IJBIOMAC.2021.06.127>
- Zhang, C., Lyu, X., Arshad, R. N., Aadil, R. M., Tong, Y., Zhao, W., & Yang, R. (2023). Pulsed electric field as a promising technology for solid foods processing: A review. *Food Chemistry*, 403, 134367. <https://doi.org/10.1016/J.FOODCHEM.2022.134367>
- Zhang, L., Hu, Y., Wang, X., Abiola Fakayode, O., Ma, H., Zhou, C., Xia, A., & Li, Q. (2021). Improving soaking efficiency of soybeans through sweeping frequency ultrasound assisted by parameters optimization. *Ultrasonics Sonochemistry*, 79, 105794. <https://doi.org/10.1016/J.ULTSONCH.2021.105794>
- Zhang, S., Guan, E., Bian, k., Xu, M., & Zhang, K. (2015). Digestibility of starch and protein during accelerated aging of wheat. *Journal of the Chinese Cereals and Oils Association*, 30(2), 11–14.
- Zhang, Z., Zhang, M., & Zhao, W. (2023). Effect of starch-protein interaction on regulating the digestibility of waxy rice starch under radio frequency treatment with added CaCl_2 . *International Journal of Biological Macromolecules*, 232, 123236. <https://doi.org/10.1016/J.IJBIOMAC.2023.123236>
- Zhou, D., Yang, G., Tian, Y., Kang, J., & Wang, S. (2023). Different effects of radio frequency and heat block treatments on multi-scale structure and pasting properties of maize, potato, and pea starches. *Food Hydrocolloids*, 136, 108306. <https://doi.org/10.1016/J.FOODHYD.2022.108306>
- Zhou, J., Yan, B., Wu, Y., Zhu, H., Lian, H., Zhao, J., Zhang, H., Chen, W., & Fan, D. (2021). Effects of sourdough addition on the textural and physiochemical attributes of microwaved steamed-cake. *LWT- Food Science and Technology*, 146, 111396. <https://doi.org/10.1016/J.LWT.2021.111396>
- Zhou, X., Liu, L., Fu, P., Lyu, F., Zhang, J., Gu, S., & Ding, Y. (2018). Effects of infrared radiation drying and heat pump drying combined with tempering on the quality of long-grain paddy rice. *International Journal of Food Science and Technology*, 53(11), 2448–2456. <https://doi.org/10.1111/IJFS.13834>