

ISSN 2712-7648

HEALTH, FOOD & BIOTECHNOLOGY

VOLUME 5 • ISSUE 3 • SEPTEMBER 2023



HFB
HEALTH, FOOD & BIOTECHNOLOGY

№ 3 – 2023

Периодичность издания – 4 номера в год

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

Редакция

Заведующий редакцией	—	Тихонова Елена Викторовна
Выпускающий редактор	—	Косычева Марина Александровна
Редактор по этике	—	Косычева Марина Александровна
Ответственный секретарь	—	Лаптева Елена Александровна
Медийный редактор	—	Щербакова Екатерина Олеговна

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

Адрес:

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

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

№ 3 – 2023

Periodicity of publication – 4 issues per year

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

Editorial Team

Head of Editorial Team	—	Elena V. Tikhonova
Editor of Issue	—	Marina A. Kosycheva
Ethics Editor	—	Marina A. Kosycheva
Executive Secretary	—	Elena A. Lapteva
Social Media and Product Editor	—	Ekaterina O. Shcherbakova

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

Address::

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

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

РЕДАКЦИОННЫЙ СОВЕТ

■ ГЛАВНЫЙ РЕДАКТОР

Данильчук Татьяна Николаевна

Российский биотехнологический университет (РОСБИОТЕХ), Россия

■ ЧЛЕНЫ РЕДАКЦИОННОГО СОВЕТА

Абдуллаева Асият Мухтаровна

Российский биотехнологический университет (РОСБИОТЕХ), Россия

Андреева Татьяна Ивановна

Институт пластмасс им. Г.С. Петрова, Россия

Бычков Алексей Леонидович

Институт химии твёрдого тела и механохимии СО РАН, Россия

Данильчук Татьяна Николаевна

Российский биотехнологический университет (РОСБИОТЕХ), Россия

Джавахян Марина Аркадьевна

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

Жилякова Елена Теодоровна

Белгородский государственный национальный исследовательский университет, Россия

Игнар Штефан

Варшавский университет естественных наук, Польша

Игнатенко Григорий Анатольевич

Донецкий национальный медицинский университет им. М. Горького, ДНР

Кирш Ирина Анатольевна

Российский биотехнологический университет (РОСБИОТЕХ), Россия

Коврига Владислав Витальевич

ООО «Группа «Полимертепло», Россия

Корокин Михаил Викторович

Белгородский национальный исследовательский университет, Россия

Куркин Денис Владимирович

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

Маль Галина Сергеевна

Курский государственный медицинский университет, Россия

Налетов Андрей Васильевич

Донецкий национальный медицинский университет им. М. Горького, ДНР

Новиков Олег Олегович

Научно-образовательный ресурсный центр РУДН, Россия

Оковитый Сергей Владимирович

Санкт-Петербургский государственный химико-фармацевтический университет, Россия

Присный Андрей Андреевич

Белгородский государственный национальный исследовательский университет, Россия

Сагян Ашот Серобович

Национальная Академия наук РА, Республика Армения

Самбандам Ананадан

Национальный институт технологий, Индия

Северинов Константин Викторович

Институт молекулярной генетики НИЦ «Курчатовский институт», Россия

Серба Елена Михайловна

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

Симонов-Емельянов Игорь Дмитриевич

Российский технологический университет МИРЭА, Россия

Фриас Йезус

Дублинский технологический институт, Ирландия

Цыганова Татьяна Борисовна

Российский биотехнологический университет (РОСБИОТЕХ), Россия

Чалых Татьяна Ивановна

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

Щетинин Михаил Павлович

Российский биотехнологический университет (РОСБИОТЕХ), Россия

EDITORIAL BOARD

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

Russian Biotechnological University (BIOTECH University)

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

Russian Biotechnological University (BIOTECH University), Russia

Tatyana I. Andreeva

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

Aleksey L. Bychkov

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

Tatyana N. Danilchuk

Russian Biotechnological University (BIOTECH University), Russia

Marina A. Dzhevakhyan

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

Elena T. Zhilyakova

Belgorod State University, Russia

Jesus Frias

Dublin Institute of Technology, Ireland

Stefan Ignar

Warsaw University of Life and Sciences, Poland

Grigory A. Ignatenko

Donetsk National Medical University, DPR

Irina A. Kirsh

Russian Biotechnological University (BIOTECH University), Russia

Mikhail V. Korokin

Belgorod State University, Russia

Vladislav V. Kovriga

Polymerteplo Group, Russia

Denis V. Kurkin

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

Galina S. Mal

Kursk State Medical University, Russia

Andrey V. Nalyotov

Donetsk National Medical University, DPR

Oleg O. Novikov

RUDN University Shared Research and Educational Centre, Russia

Sergey V. Okovityi

Saint-Petersburg State Chemical and Pharmaceutical University, Russia

Andrey A. Prisnyi

Belgorod State University, Russia

Ashot S. Saghyan

National Academy of Sciences of the Republic of Armenia, Armenia

Anandan Sambandam

National Institute of Technology of Tiruchirappalli, India

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

Institute of Gene Biology Russian Academy of Sciences, Russia

Igor D. Simonov-Emelyanov

MIREA-Russian Technological University, Russia

Mikhail P. Schetinin

Russian Biotechnological University (BIOTECH University), Russia

Tatyana I. Tchalykh

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

Tatyana B. Tsyganova

Russian Biotechnological University (BIOTECH University), Russia

СОДЕРЖАНИЕ

РЕДАКТОРСКАЯ СТАТЬЯ

Т.Н. Данильчук
Роговские чтения 6

ПИТАНИЕ

С. Н. Кидяев, Е. В. Литвинова, В. Л. Лапшина, И. А. Кашеварова
Использование фитозэкстрактов
для снижения окислительного стресса липидных фракций животного происхождения 12

А.А. Люшнина, О.А. Суворов, Т.Ю. Токарева
Линейная экономика предприятий индустрии питания и способы повышения её эффективности
и экологичности 22

Ю.Б. Гербер, Н. Ю. Ярошенко
Использование криопорошка из календулы в технологии продуктов питания..... 32

БИОТЕХНОЛОГИИ

К.Н. Корнилов, Н.Н. Роева
Исследование кинетики биологического разложения биопластика, полученного
из крахмала тапиоки 37

CONTENTS

EDITORIAL

Tatyana N. Danilchuk Rogov's Readings.....	7
---	---

FOOD

Sergey N. Kidyaev, Elena V. Litvinova, Viktoria L. Lapshina, Irina A. Kashevarova The Use of Phytoextracts to Reduce Oxidative Stress of Lipid Fractions of Animal Origin.....	13
Alice A. Lyushnina, Oleg A. Suvorov, Tatyana Yu. Tokareva Linear Economics of Food Industry Enterprises and Ways to Improve its Efficiency and Environmental Friendliness	23
Yuriy B. Gerber, Nataliya Y. Yaroshenko The Usage of Calendula Cryopowder in Food Technology	33

BIOTECHNOLOGY

Kirill N. Kornilov, Nataliya N. Roeva Study on the Biodegradation Kinetics of Bioplastic Obtained from Tapioca Starch.....	38
---	----

<https://doi.org/10.36107/hfb.2023.i3.s192>

УДК 664.923.2/9

Роговские чтения

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: 06.12.2023

Принята: 06.12.2023

Copyright: © 2023 Автор

АННОТАЦИЯ

Изложены сведения о научно-практической конференции с международным участием «Роговские чтения», проводимой ежегодно в память об академике И.А. Рогове, ученом с мировым именем, талантливым педагоге, основоположнике научных школ в области переработки сельскохозяйственного сырья и интенсификации физико-химических и биотехнологических процессов. В цели и задачи конференции входили: популяризация научных разработок, направленных на улучшение качества жизни населения, охраны окружающей среды; популяризация здорового образа жизни; обсуждение задач, связанных с вопросами образования в области пищевых технологий и подготовки высококвалифицированных специалистов. В круг вопросов, рассмотренных на конференции, вошли инновационные технологии традиционных и функциональных продуктов питания, прогрессивные технологии переработки пищевого сырья и хранения готовой продукции, вопросы биологической безопасности продуктов питания и актуальные вопросы автоматизации биотехнологических процессов. Конференция стала площадкой для обсуждения современных проблем пищевой отрасли, развития биотехнологических принципов при реализации прорывных природоподобных технологий, комплексного использования вторичных сырьевых ресурсов, энерго и ресурсосбережения, цифровой симуляции пищевых производств, нейросетевых технологий, робототехники, продвижения на рынок новой продукции для эффективного здоровьесбережения, включая функциональные продукты питания.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА

научные чтения, пищевая промышленность, прикладная биотехнология, вторичные сырьевые ресурсы, энерго и ресурсосбережение, функциональные продукты питания



Для цитирования: Данильчук, Т. Н. (2023). Роговские чтения. *Health, Food & Biotechnology*, 5(3), 6–11. <https://doi.org/10.36107/hfb.2023.i3.s192>

<https://doi.org/10.36107/hfb.2023.i3.s192>

Rogov's Readings

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: 06.12.2023

Accepted: 06.12.2023

Copyright: © 2023 The Author

ABSTRACT

This article presents information about the international scientific and practical conference "Rogov Readings", held annually in memory of Academician I.A. Rogov, a world-famous scientist, a talented teacher, the founder of scientific schools in the field of farm products processing and intensification of physicochemical and biotechnological processes. The goals and objectives of the conference included: popularization of scientific developments aimed at improving the quality of life of the population and environmental protection; popularization of a healthy lifestyle; discussion of tasks related to education in the field of food technology and training of highly qualified specialists. The range of issues discussed at the conference included innovative technologies of traditional and functional food products, advanced technologies for processing food raw materials and storing finished products, issues of biological safety of food products and current issues of automation of biotechnological processes. The conference has become a platform for discussing modern problems of the food industry, the development of biotechnological principles in the implementation of breakthrough nature-like technologies, the integrated use of secondary raw materials, energy and resource conservation, digital simulation of food production, neural network technologies, robotics, promotion to the market of new products for effective health conservation, including functional foods.

KEYWORDS

scientific readings, food industry, applied biotechnology, secondary raw materials, energy and resource conservation, functional foods



To cite: Danilchuk, T. N. (2023). Rogov's readings *Health, Food & Biotechnology*, 5(3), 6–11. <https://doi.org/10.36107/hfb.2023.i3.s192>

ВВЕДЕНИЕ

30 ноября 2023 Российский биотехнологический университет в четвертый раз провел ежегодную конференцию «Роговские чтения», посвященную развитию научных идей академика РАН Иосифа Александровича Рогова (1929–2017 гг.), основателя научной школы переработки пищевого сырья с применением электрофизических методов обработки пищевых продуктов, разработчика технологий широкого спектра пищевых производств, в том числе с участием живых систем. Первые Роговские чтения состоялись в 2019 году, в год 90-летия Иосифа Александровича. За это время «Роговские чтения» переросли в международную конференцию, что явилось важным шагом в осмыслении наследия академика И.А. Рогова — человека-легенды, яркой, сильной личности с необычной судьбой. Участие в «Роговских чтениях» зарубежных ученых и представителей бизнеса — высокая оценка его научной и общественной деятельности также и в области развития международных научно-технических связей. Перечень широких научных интересов И.А. Рогова предопределяет круг тем и вопросов для обсуждения на научных чтениях: инновационные технологии традиционных и функциональных продуктов питания, прогрессивные технологии переработки пищевого сырья и хранения готовой продукции, вопросы биологической безопасности продуктов питания и актуальные вопросы автоматизации биотехнологических процессов.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Конференция прошла на базе Института прикладной биотехнологии имени академика РАН И.А. Рогова ФГБОУ ВО РОСБИОТЕХ. На конференции присутствовали:

академик РАН Е.И. Титов — лауреат государственной премии в области науки и техники, зав. кафедрой «Технологии и биотехнологии мяса и мясных продуктов»;

академик РАН А.Б. Лисицын — лауреат государственной премии в области науки и техники, научный руководитель Федерального научного центра пищевых систем имени В.М. Горбатова» РАН, зав. кафедрой «Конструирование функциональных продуктов питания и нутрициология»;

академик РАН А.Н. Петров — лауреат премии Правительства РФ, зав. кафедрой «Технология молока, пробиотических молочных продуктов и сыроделия»;

академик РАН А.Г. Галстян, директор Всероссийского НИИ молочной промышленности, зав. базовой кафедрой «Биотехнологии молока»;

член-корр. РАН С.А. Рыжов, директор по развитию AVG CAPITAL PARTNERS;

член-корр. РАН В.В. Гущин, научный руководитель ВНИИ птицеперерабатывающей промышленности — филиала ФНЦ «ВНИТИП» РАН;

Ю.И. Ковалев — лауреат государственной премии в области науки и техники, генеральный директор Национального союза свиноводов;

А.Н. Габараев — зам. генерального директора ЗАО Выхинский колбасный завод;

О. Кадилов и А. Улукмурадов — доценты Ташкентского института легкой и текстильной промышленности.

В заседании конференции в онлайн формате приняли участие коллеги из Республики Казахстан, в том числе известные в области пищевых технологий ученые:

У.Ч. Чоманов — академик Национальной Академии наук Республики Казахстан, заведующий отделом Казахского научно-исследовательского института перерабатывающей и пищевой промышленности;

А.У. Шингисов — член-корреспондент Академии сельскохозяйственных наук Республики Казахстан, заведующий кафедрой «Технология и безопасность продуктов питания» Южно-Казахстанский государственный университет имени М. Ауэзова.

В зале присутствовали ученики Иосифа Александровича, его коллеги и соратники, студенты и аспиранты РОСБИОТЕХа.

Открыл конференцию и. о. ректора РОСБИОТЕХа А.А. Солдатов. Он отметил, что И.А. Рогов отдал Университету более 60 лет своей жизни, прошел путь от ассистента до ректора, а впоследствии — почетного Президента. Сегодня его коллеги и ученики, вспоминают и отдают должное тому научному наследию, которое Иосиф Александрович оставил своим потомкам, продолжателям его научных идей. Круг его интересов был чрезвычайно широк — от разработки магнитоимпульсных систем борьбы с обледенением самолетов до конструирования специализированных, функциональных пищевых продуктов, продуктов профилактического и детского питания. Он обладал даром предвидения и ставил вопросы поиска и изучения новых источников белка с использованием методом клеточной технологии и тканевой инженерии на основе инновационных подходов. По инициативе И.А. Рогова была создана проблемная научно-исследовательская лаборатория электрофизических методов обработки пищевых продуктов, научным руководителем которой он был более 40 лет.

Результаты его работ опубликованы в ведущих научно-технических изданиях как в России, так и за рубежом, и включают статьи, монографии, учебники и учебные пособия. Им получено около 250 авторских свидетельств и патентов. И.А. Рогов был дважды Лауреатом Государственной премии, Премии Правительства РФ в области образования, награжден орденами и медалями.

С приветственным словом перед участниками конференции выступили Е.И. Титов, А.Б. Лисицын, Ю.И. Ковалев, С.А. Рыжов, А.Н. Габараев, В.В. Гущин.

Е.И. Титов подчеркнул широту научных интересов И.А.Рогова, его умение заинтересовать научной работой молодежь и направить энергию молодых людей в правильное русло. А.Б. Лисицын рассказал, что по инициативе Иосифа Александровича была создана базовая кафедра с Всероссийским научно-исследовательским институтом мясной промышленности им. В.М. Горбатова, которая подготовила высококвалифицированные научные кадры. За счет этого был сформирован костяк руководящего состава одного из крупнейших в России профильных НИИ. Ю.И. Ковалев подчеркнул, что Рогов был визионером, умел предсказать будущее науки на несколько лет вперед. А.Н. Габараев и В.В. Гущин поделились своими воспоминаниями об Иосифе Александровиче как о талантливом педагоге и организаторе высшего профессионального образования и научных исследований. С.А. Рыжов дополнил, что идеи Иосифа Александровича намного опередили время и до сих пор являются актуальными. Мир меняется, ставятся новые задачи, которые возможно решить только с помощью сильной науки и современных технических решений.

На пленарном заседании были заслушаны доклады ведущих специалистов в области пищевых производств.

А.А. Семенова, заместитель директора по научной работе ФГБНУ «ФНЦ пищевых систем им. В.М. Горбатова» РАН рассказала о современных проблемах развития мясной промышленности, в том числе:

- (1) обеспечение безопасности мясной продукции,
- (2) обеспечение контроля качества мясной продукции,
- (3) обеспечение конкурентоспособности мясной продукции на продовольственном рынке в связи с увеличением производства альтернативных мясу продуктов питания.

Отмечено, что ожидается эволюция пищевой промышленности, переход на производство продуктов с повышенной пищевой ценностью при одновременном сохранении биоразнообразия, снижении потребления ресурсов и воздействия на окружающую среду.

В докладе А.А. Семеновой представлена здоровая эталонная диета будущего, которая в обязательном по-

рядке предусматривает ежедневное потребление различных видов мяса, как источника полноценного белка, научно обоснована социальная роль мяса для личного здоровья людей, поддержания экологического баланса и обеспечения социально-экономических средств к существованию. В докладе приведены прогнозы от Глобальной сети продовольствия и агробизнеса, Минэкономразвития на ближайшие годы в части увеличения производства мяса крупного рогатого скота, свиней и птицы. Рассмотрены возможности использования Индустрии 4.0 для развития мясной промышленности.

В.И. Ганина, ведущий научный сотрудник Проблемной научно-исследовательской лаборатории «Конструирование и внедрение продуктов и рационов персонализированного питания» Московского государственного университета технологий и управления имени К.Г. Разумовского, в докладе «Биотехнология — драйвер развития производства кисломолочной продукции», со ссылкой на Стратегию повышения качества пищевой продукции Российской Федерации до 2030 года, раскрыла вопросы обеспечения полноценного питания и профилактики заболеваний для решения проблемы увеличения продолжительности и повышения качества жизни населения, стимулирования и развития производства и обращения на рынке пищевой продукции. В докладе подчеркнуто, что парадигмой современного мира является активная роль человека в сохранении своего здоровья и увеличении продолжительности активного образа жизни, а питание — основной фактор, влияющий на здоровье людей. 21 век — время осуществления мониторинга состояния организма «in real time» и корректировки питания путём использования продуктов диетического профилактического питания, включая биопродукты и функциональные продукты питания, например кисломолочные продукты. Кисломолочные продукты способствуют поддержанию и восстановлению микроорганизмов желудочно-кишечного тракта, так как имеют в своем составе молочнокислые и пробиотические микроорганизмы, способные синтезировать метаболиты. Получение новых данных в области изучения свойств пробиотиков и синтезируемых ими метаболитов, в частности способности к образованию биоактивных аминов, представляет научную и практическую ценность. В докладе отмечено, что биоактивные амины играют важную физиологическую роль во многих клеточных процессах (пролиферация и дифференциация клеток, передача сигналов и стабильность мембран), в регуляции когнитивных функций мозга и настроения человека, температуры тела и пищевого поведения, повышении или понижении артериального давления, в синтезе нуклеиновых кислот и белков, гормонов и алкалоидов. Приведены результаты исследований свойств новых штаммов молочнокислых бактерий (депонированы в коллекции микроорганизмов при ФБУН МНИИЭМ им. Г.Н. Габричевского Роспотребнадзора): *Lactobacillus delbrueckii subsp.*

bulgaricus HLB-8 (ГКНМ 1288), *Lactobacillus acidophilus* HLA-41 (ГКНМ 1287), *Streptococcus salivarius thermophilus* HST-14 (ГКНМ 1286), *Streptococcus salivarius thermophilus* HST-20 (ГКНМ 1285), *Lactococcus lactis subsp. lactis* HLL-18 (ГКНМ 1283). Результаты проведенных исследований позволили углубить и дополнить сведения о метабиотиках, синтезируемых молочнокислыми, включая пробиотические бактерии, и расширить аргументы о диетическом и профилактическом действии кисломолочной продукции на организм человека.

О.В. Бредихина, ведущий научный сотрудник отдела инновационных технологий департамента технического регулирования Всероссийского научно-исследовательского института рыбного хозяйства и океанографии, в докладе «Комплексное использование вторичных сырьевых ресурсов рыбной промышленности», рассказала о проблемах загрязнения окружающей среды, влияния сельского хозяйства и производства продуктов питания на окружающую среду, уменьшения отходов при переработке водных ресурсов. В докладе показан потенциал использования водных биоресурсов и аквакультуры, в частности вторичных сырьевых ресурсов рыбной промышленности. Приведена классификация вторичных сырьевых ресурсов и отходов. В докладе приведены примеры того, как можно использовать отходы производства в дальнейшем производственном цикле после дополнительной обработки. Представлены продукты, полученные путем переработки вторичных сырьевых ресурсов водных биоресурсов и аквакультуры: биологически активные комплексы и добавки; рыбный жир; коллагенсодержащие гидролизаты; кормовые продукты, рыбные подпрессовые бульоны и белково-липидные концентраты, а также технические продукты (биотопливо, рыбный клей, гуанин и жемчужный пат, сырье для кожевенного производства). Освещена проблема сточных вод рыбоперерабатывающих предприятий. О.В. Бредихина в конце доклада сделала вывод, что вовлечение в сферу производства вторичного сырья равносильно расширению сырьевой базы промышленности при одновременной экономии затрат труда, выпуск дополнительной продукции из вторичного сырья означает снижение издержек производства на единицу конечной продукции при тех же затратах на сырье.

А.А. Творогова, заместитель директора по научной работе Всероссийского научно-исследовательского института холодильной промышленности, филиала Федерального научного центра пищевых систем имени В.М. Горбатова, рассказала о развитии ресурсосберегающих технологий замороженных десертов с усовершенствованным белково-углеводным составом, представила общие сведения о производстве мороженого в России в 2022–2023 г. Поскольку мороженое является продуктом с повышенным содержанием жира и сахаров, в докладе приведены данные о допустимой доли мо-

роженого в среднесуточном потреблении пищевой продукции. Отмечено, что в мировой практике развивается тенденция замены сухого обезжиренного молочного остатка (СОМО) мороженого белковыми концентратами и продуктами переработки крахмала и актуальным является развитие научных аспектов и создание технической базы производства мороженого и замороженных десертов функциональной направленности, включая обогащение белком путем использования концентрированных форм молочных и сывороточных белков, изготавливаемых из побочных продуктов молочного производства (обезжиренного молока и подсырной сыворотки). В докладе приведены результаты исследования технологически значимых показателей качества 8 концентратов, изолятов и гидролизатов белков, а также влияние массовой доли концентрата сывороточного белка и изолята молочного белка на изменение БЦ белков в сливочном мороженом. Рассмотрены перспективы производства молокосодержащего мороженого как продукции экономкласса, его пищевая ценность и показатели качества. Приведены результаты исследования свойств новых разновидностей молокосодержащего мороженого:

- полученного с использованием концентратов и микропартикулятов сывороточных белков;
- с пониженным содержанием лактозы с использованием концентратов молочных и сывороточных белков;
- с низким содержанием СОМО, с использованием концентратов сывороточных белков и сыворотки.

Проведен сравнительный анализ свойств разновидностей мороженого в сравнении с молочным мороженым.

После пленарного заседания работа конференции продолжалась в рамках секций:

- «Мясная и молочная индустрии: вызовы и перспективы развития в условиях импортозамещения»;
- «Автоматизация и управление технологическими процессами и производствами».

В работе секции «Мясная и молочная индустрии: вызовы и перспективы развития в условиях импортозамещения» приняли участие представители ФГБУН «ФИЦ питания и биотехнологии», ВНИИ птицеперерабатывающей промышленности – филиала ФНЦ «ВНИТИП» РАН, ФГБОУ ВО «РЭУ им. Г.В. Плеханова», Южно-Казахстанского государственного университета имени М. Ауэзова, преподаватели, студенты и аспиранты ФГБОУ ВО РОСБИОТЕХ. Рассмотрены вопросы производства мясной продукции из мяса птицы, изучения антиоксидантной активности продуктов питания нового поколения, технологии заквасочных культур, технологии низколактозных продуктов с растительными компонентами, технологии производства новых сортов сыра, биологической безопасности молочных продуктов, упаковочные решения, вопросы

созревания рыбных пресервов, цифровое конструирование рационов питания.

В работе секции «Автоматизация и управление технологическими процессами и производствами» приняли участие представители Московского политехнического университета МОСПОЛИТЕХ, Московского государственного университета технологий и управления имени К.Г. Разумовского, ФГБОУ ВО Саратовский государственный университет генетики, биотехнологии и инженерии имени Н.И. Вавилова, ООО «Альбига», ООО «ПромАрт», Ташкентского института легкой и текстильной промышленности, преподаватели, студенты и аспиранты ФГБОУ ВО РОСБИОТЕХ. Рассмотрены вопросы создания цифровых двойников процессов автоматизации в пищевой промышленности, обучения систем машинного зрения на цифровой симуляции, прототипирования конструктивных элементов технологического оборудования на основе 3D-печати, нейросетевых технологий, робототехники, внедрения систем технического зрения на предприятиях пищевой промышленности, разработки систем интеллектуального контроля мясной цепочки

и качества мясной продукции, актуальные вопросы разработки автоматизированных систем управления технологическими процессами, цифровых двойников АСУ ТП пищевых производств.

ВЫВОДЫ

Конференция стала площадкой для обсуждения современных проблем пищевой отрасли, развития биотехнологических принципов при реализации прорывных природоподобных технологий, комплексного использования вторичных сырьевых ресурсов, энерго и ресурсосбережения, цифровой симуляции пищевых производств, нейросетевых технологий, робототехники, продвижения на рынок новой продукции для эффективного здоровьесбережения, включая функциональные продукты питания. Конференция прошла с успехом, ее результаты безусловно будут содействовать укреплению международного научного сотрудничества и найдут применение на практике как воплощение научных идей Иосифа Александровича Рогова.

<https://doi.org/10.36107/hfb.2023.i3.s179>

УДК 664

Использование фитоэкстрактов для снижения окислительного стресса липидных фракций животного происхождения

С. Н. Кидяев, Е. В. Литвинова, В. Л. Лапшина, И. А. Кашеварова

Российский биотехнологический университет (РОСБИОТЕХ), Москва, Россия

Корреспонденция:

Лапшина Виктория Леонидовна,
Российский биотехнологический университет (РОСБИОТЕХ),
125080, Россия, г. Москва,
Волоколамское шоссе, 11
E-mail: lapshinavl@mgupp.ru

Конфликт интересов:

авторы сообщают об отсутствии конфликта интересов.

Поступила: 19.09.2023

Поступила после
рецензирования: 24.11.2023

Принята: 05.12.2023

Copyright: © 2023 Авторы

АННОТАЦИЯ

Введение. Лекарственное сырье имеет богатый химический состав и обладает бактерицидным действием. Эффективность действия растительных экстрактов в отношении окислительного стресса определяется особенностями химической структуры и концентрацией биологически активных веществ.

Цель. Целью научного исследования являлось создание комплексного фитопрепарата для снижения окислительного стресса липидной системы (шпик свиной) в процессе хранения. В ходе эксперимента были разработаны способы получения фитоэкстрактов из 4 растительных объектов (кумин, гвоздика, можжевельник, имбирь).

Материалы и методы. Антиоксидантную активность полученных фитоэкстрактов и поликомпонентных смесей из экстрактов растений исследовали несколькими методами. Были использованы данные о различиях в механизмах действия антиоксидантов прямого воздействия в качестве рабочей гипотезы. Антиоксидантная активность определялась путем изучения влияния экстрактов на скорость окисления свиного шпика

Результаты. Результаты исследований показали, что наиболее высокую антиоксидантную активность имеет экстракт гвоздики, а смесь экстрактов (кумин-гвоздика и можжевельник-гвоздика) демонстрирует синергетический эффект на свином шпике. Научно обосновано, что антиоксиданты с разными механизмами действия могут быть значительно эффективнее, чем отдельные антиоксиданты, что имеет важное значение для разработки антиоксидантных комплексов.

Выводы. Было установлено, что для каждой поликомпонентной смеси зависимость от скорости накопления продуктов окисления уникальна, и существует оптимальная концентрация, обеспечивающая максимальную антиоксидантную активность.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА

БАВ; фитоэкстракты; антиоксиданты; антиоксидантная активность; окислительный стресс; мясные продукты.



Для цитирования: Кидяев, С. Н., Литвинова, Е. В., Лапшина, В. Л., & Кашеварова, И. А. (2023). Использование фитоэкстрактов для снижения окислительного стресса липидных фракций животного происхождения. *Health, Food & Biotechnology*, 5(3), 12–21. <https://doi.org/10.36107/hfb.2023.i3.s179>

<https://doi.org/10.36107/hfb.2023.i3.s179>

The Use of Phytoextracts to Reduce Oxidative Stress of Lipid Fractions of Animal Origin

Sergey N. Kidyaev, Elena V. Litvinova, Viktoria L. Lapshina, Irina A. Kashevarova

Russian Biotechnological University
(BIOTECH University), Moscow, Russia

Correspondence:

Viktoria L. Lapshina,

Russian Biotechnological University, 1
1, Volokolamskoe highway, Moscow,
125080, Russia

E-mail: lapshinavl@mgupp.ru

Declaration of competing interest:

none declared.

Received: 19.09.2023

Received in revised form: 24.11.2023

Accepted: 05.12.2023

Copyright: © 2023 The Authors

ABSTRACT

Introduction. Medicinal raw materials have a rich chemical composition and bactericidal effect. The effectiveness of plant extracts against oxidative stress is determined by the characteristics of the chemical structure and the concentration of biologically active substances.

Purpose. The purpose of the scientific research was to create a complex herbal medicine to reduce oxidative stress of the lipid system (pork fat) during storage. During the experiment, methods for obtaining phytoextracts from 4 plant objects (cumin, cloves, juniper, ginger) were developed. As a working hypothesis, data on differences in the mechanisms of direct antioxidant action were used. Antioxidant activity was determined by studying the effect of extracts on the rate of oxidation of pork fat.

Materials and Methods. The antioxidant activity of the obtained phytoextracts and polycomponent mixtures from plant extracts was studied by several methods.

Results. Research results have shown that clove extract has the highest antioxidant activity, and a mixture of extracts (cumin-clove and juniper-clove) demonstrates a synergistic effect on pork lard. It is scientifically proven that antioxidants with different mechanisms of action can be significantly more effective than individual antioxidants, which is important for the development of antioxidant complexes.

Conclusions. It was found that for each multicomponent mixture the dependence on the rate of accumulation of oxidation products is unique, and there is an optimal concentration that provides maximum antioxidant activity.

KEYWORDS

bioactive compounds; phytoextracts; antioxidants; antioxidant activity; oxidative stress; meat products



To cite: Kidyaev, S. N., Litvinova, E. V., Lapshina, V. L., & Kashevarova, I. A. (2023). The use of phytoextracts to reduce oxidative stress of lipid fractions of animal origin. *Health, Food & Biotechnology*, 5(3), 12–21. <https://doi.org/10.36107/hfb.2023.i3.s179>

ВВЕДЕНИЕ

В области здорового питания населения Российской Федерации особая роль отводится созданию качественно новых пищевых продуктов, обогащенных функциональными ингредиентами: биологически активными веществами, способными повышать защитные функции организма, снижать риск развития алиментарно-зависимых заболеваний (Ковалева, 2016). Одним из приоритетных направлений в создании обогащенных мясных изделий является использование фитокомпонентов, содержащего целый ряд биологически активных соединений, обладающих антимикробными и антиоксидантными свойствами, а также имеющих широкую распространенность и экономическую доступность (Афанасьева, 2017; Баженова, 2020). В условиях глобального загрязнения окружающей среды и стрессов из-за различных негативных воздействий, изменение структуры питания населения и, использование биологически активных компонентов природного сырья в производстве мясных изделий позволит снизить последствия внешнего влияния на организм человека, повысить иммунитет и придать продуктам антиоксидантные свойства (Ковалева, 2016; Патракова, 2021).

В борьбе с окислительным стрессом пищевых продуктов перспективным способом является использование природных антиоксидантов — веществ, способных прерывать реакции образования пероксидов. Попадая в организм и используя различные механизмы эти вещества, снижают губительное воздействие кислорода (Икрами, 2020; Савельева, 2017; Хамидова, 2021).

В существующих реалиях развития индустрии пищевых продуктов, ориентируясь на принципы общей химии, известны различные механизмы действия антиоксидантов: реакция переноса электрона от антиокислителя к субстрату; реакция переноса атома водорода от антиокислителя к субстрату, которую в водных средах можно рассматривать как перенос протона, сопровождающийся переносом электрона; реакция переноса одной или нескольких пар электронов с образованием ковалентной связи по донорно-акцепторному механизму. Представленные сведения позволяют сделать вывод о необходимости комплексного подхода к изучению антиоксидантных свойств, в частности, использования нескольких методов для определения антиокислительных свойств компонентов.

Целью данного исследования являлось создание поликомпонентного фитопрепарата, способствующего снижению окислительного стресса липидной системы в процессе хранения.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Для приготовления экстрактов из можжевельника (сушеные ягоды), гвоздики (сушеные бутоны тропического гвоздичного дерева из рода Сизигиум) и кумина (сушеные семена зиры) была разработана следующая технология:

Навеску измельченных ингредиентов в количестве 10 г закладывали в коническую колбу вместимостью 500 мл. Затем в колбу вносили 200 мл охлажденной дистиллированной воды. Полученные растворы кипятили на водяной бане в течение 15 мин. Полученный отвар охлаждали при комнатной температуре около 45 мин и проводили фильтрацию через бумажный складчатый фильтр. Объем раствора доводили водой до 200 мл. Приготовленный экстракт имел концентрацию 5 % сухих веществ.

Экстракт гвоздики

Водный экстракт гвоздики содержал большое количество эфирных масел, обладающих антиоксидантной активностью (Лесовская, 2021). Также в составе присутствовал эвгенол, способный препятствовать реакциям окисления как в пищевых продуктах, так и в организме человека (Кароматов, 2021; Самусенко, 2014).

Экстракт можжевельника

Водный экстракт можжевельника обладал антирадикальной активностью благодаря наличию таких веществ как терпинеол, бисаболен и пинен. Помимо способности снижать скорость окислительных реакций добавление экстракта можжевельника способствует повышению функционально-технологических свойств пищевой системы (Гизингер, 2021; Тридворнов, 2019).

Экстракт кумина

Водный экстракт кумина содержал флавоноиды, изофлавоноиды, пинен, цинеол, терпены и линалоолы, которые являются антиоксидантами (Багавиева, 2020).

Приготовление экстракта имбиря

Навеску измельченного сушеного корня растения массой 10 г закладывали коническую колбу вместимостью 500 мл. Затем вносили водно-спиртовой раствор (гидромодуль 2 : 1 спирт 40 %) и выдерживали в течение 2 ч при постоянном перемешивании (Позднякова, 2021). Спирт отделяли методом экстракции. Полученный экстракт охлаждали при температуре 20 ± 2 °C около 45 мин

и фильтровали через бумажный складчатый фильтр. Объем раствора доводили водой до 200 мл. Поскольку, в корне имбиря содержится смолистое вещество — гингерол, основными составляющими которого являются α - и β -цингиберены, придающий ему особый аромат, была использована водно-спиртовая смесь для отделения смолистой составляющей экстракта.

Экстракт имбиря

Водно-спиртовой экстракт имбиря является источником олеорезина — натурального вещества с антиоксидантными свойствами. Помимо олеорезина в имбире содержались монотерпеновые углеводороды, спирты, цитраль и сесквитерпены (Гордынец, 2017).

Определения антиоксидантной активности разработанных фитоэкстрактов осуществляли на свином шпике с использованием метода кулонометрического титрования электрогенерированным бромом с помощью кулонометра «Эксперт-006» (НПК ООО «Эконикс-Эксперт», г. Москва). Электрохимическое окисление бромид-ионов на платиновом электроде в кислых средах может приводить к образованию Br^{3-} , Br_2 , а также короткоживущих радикалов брома ($\text{Br}\cdot$), адсорбированных на поверхности платинового электрода. Соединения брома вступают в радикальные и окислительно-восстановительные реакции, а также реакции электрофильного замещения и присоединения по кратным связям, что позволяет использовать бром как универсальный реагент для оценки антиоксидантной активности препаратов. Конечная точка титрования определяется амперометрически с двумя поляризованными платиновыми электродами ($\Delta E = 200 \text{ мВ}$).

Для сравнительной оценки и валидации результатов также антиоксидантную активность определяли с помощью фотоколориметрического метода, который позволяет определить исследуемый показатель по проценту ингибирования радикала ДФПГ (2,2-дифенил-1-пикрилгидразила). Кислотное число определяли по ГОСТ Р 50457–92, перекисное число по ГОСТ ISO 3960–2020, тиобарбитуровое число по ГОСТ Р 55810–2013.

Полученные результаты обрабатывали, используя общепринятые методы вариационной статистики. Различия показателей считали достоверными при значениях достоверного интервала $\geq 0,05$.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

В ходе проведения эксперимента были разработаны технологии получения фитоэкстрактов четырех растений: можжевельника, гвоздики, имбиря и кумина.

Результаты определения антиоксидантной активности полученных экстрактов представлены на Рисунках 1–2.

Проведенные исследования показали, что экстракт гвоздики обладает наибольшей антиоксидантной активностью, составляющей 84,7 %. В этом экстракте было обнаружено общее содержание антиоксидантов в количестве 853,14 мкг / мл. С помощью программы Microsoft Excel был проведен корреляционный анализ между двумя наборами данных и рассчитан коэффициент корреляции, равный 0,7904. Это указывает на то, что два использованных в работе метода опре-

Рисунок 1

Антиоксидантная активность экстрактов кулонометрическим методом

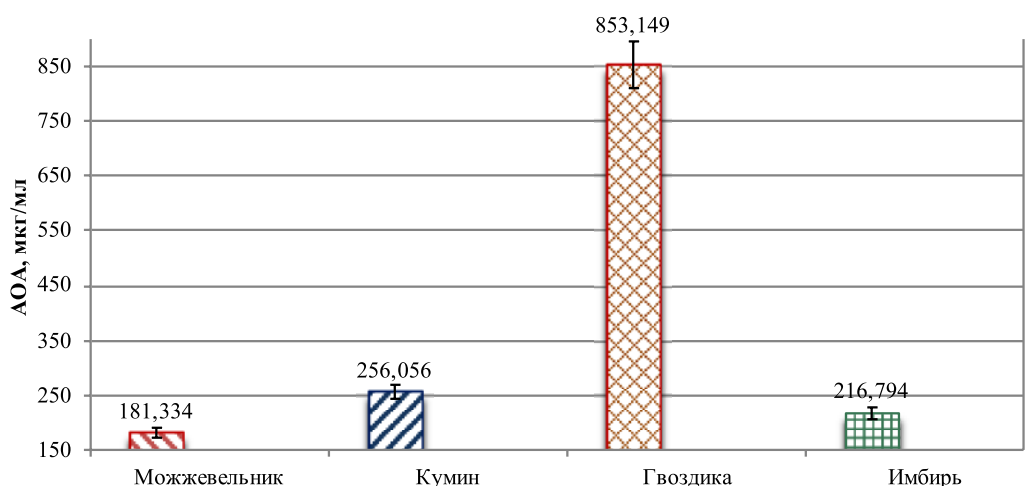
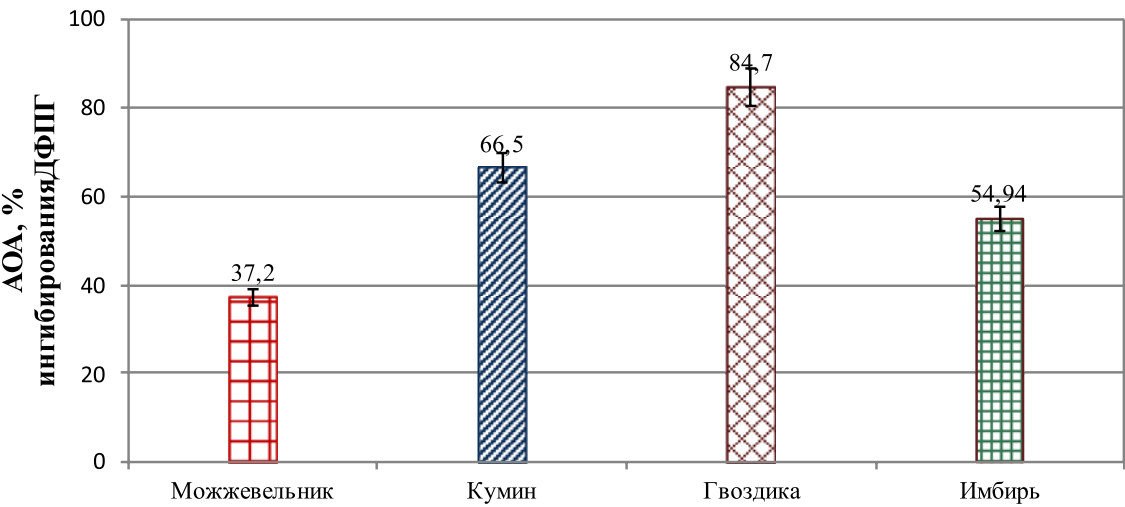


Рисунок 2
Антиоксидантная активность экстрактов фотоколориметрическим методом



деления антиоксидантной активности фитоэкстрактов демонстрируют высокую корреляцию между полученными данными.

Антиоксидантная активность в растительных тканях обусловлена наличием природных соединений, таких как биофлавоноиды, оксикислоты и витамины: С, Е, β-каротин и селен. Многие витамины, аминокислоты и микроэлементы обладают антиоксидантными свойствами, будь то непосредственно или косвенно, являясь частями антиоксидантных ферментов. Интересно, что мы обнаружили около 5000 фенольных антиоксидантных соединений с разнообразными полезными свойствами. Некоторые флавоноиды обладают антиоксидантной активностью в 20–50 раз больше, чем витамины С и Е. Важно отметить, что селен является основным минеральным антиоксидантом и инактиватором свободных радикалов, он также участвует в синтезе фермента глутатионпероксидазы. Помимо этого, для выработки собственных антиоксидантов организму человека требуется достаточное количество цинка, меди и марганца. Надо также отметить, что реальные объекты являются сложными системами с разнообразным химическим составом, и их антиоксидантные свойства проявляются благодаря общему содержанию и взаимодействию различных восстановителей.

Проанализировав литературные данные, выбраны несколько возможных смесей полученных экстрактов растений. Вариантам смесей были присвоены номера от 1 до 10 по возрастанию, соответственно, данные представлены в Таблице 1.

Антиоксидантную активность полученных поликомпонентных экстрактов определяли указанными выше

Таблица 1
Варианты разработанных поликомпонентных смесей

№	Смесь экстрактов растений	Соотношение компонентов
1	Кумин – Гвоздика	1:1
2	Кумин – Можжевельник	1:1
3	Кумин – Имбирь	1:1
4	Можжевельник – Гвоздика	1:1
5	Можжевельник – Имбирь	1:1
6	Гвоздика – Имбирь	1:1
7	Кумин – Гвоздика	1:2
8	Кумин – Можжевельник	1:2
9	Можжевельник – Кумин	1:2
10	Можжевельник – Гвоздика	1:2

методами. Результаты исследования представлены на Рисунках 3–4.

Анализируя полученные данные, можно сделать вывод, что наибольший эффект синергизма продемонстрировали смеси 1 и 4, которые содержали в своем составе: 1 – кумин-гвоздика (1 : 1) и 4 – можжевельник-гвоздика (1 : 1).

В связи с этим были выбрали образцы экстрактов для дальнейшего изучения их антиоксидантной активности на модельной липидной системе.

Количество продуктов окисления обратно пропорционально активности антиоксиданта. То есть, если ко-

Рисунок 3

Антиоксидантная активность поликомпонентных фитоэкстрактов кулонометрическим методом

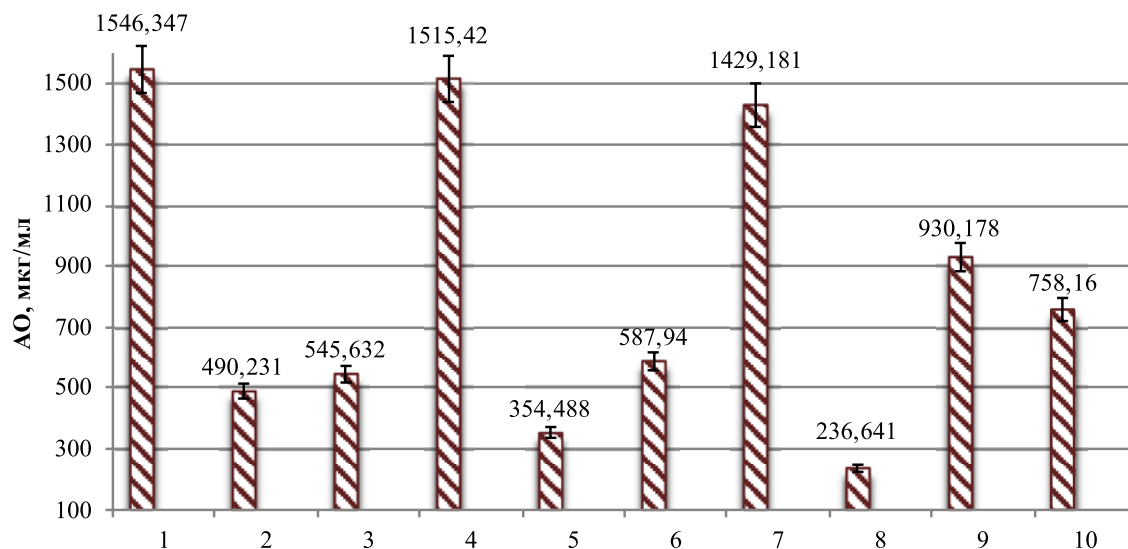
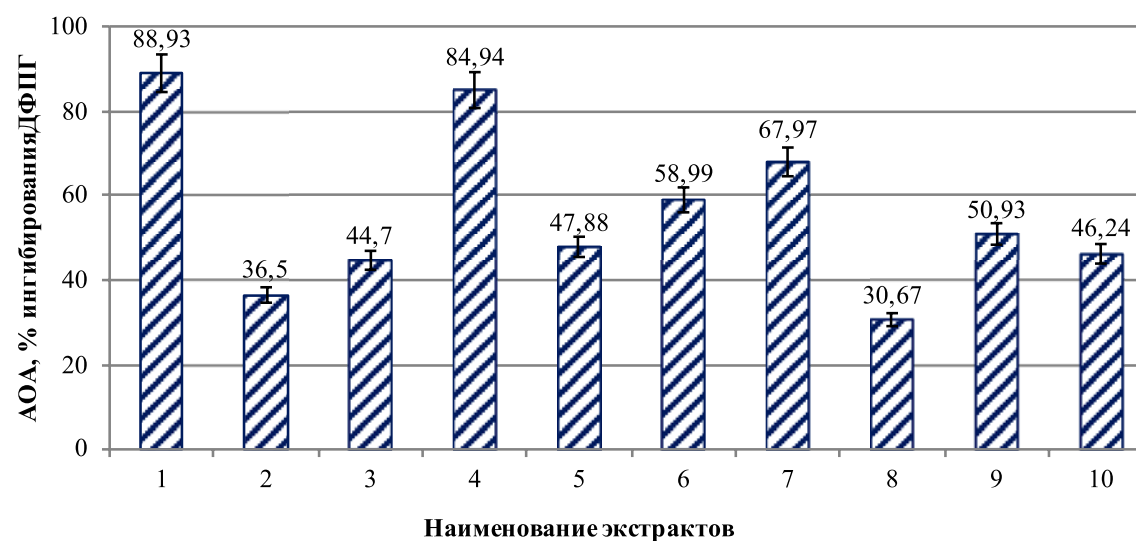


Рисунок 4

Антиоксидантная активность поликомпонентных фитоэкстрактов фотоколориметрическим методом



личество продуктов окисления высоко, то это говорит о слабом действии антиоксиданта, и наоборот – высокая активность антиоксиданта соответствует низкому уровню продуктов окисления.

Целью исследования было определение оптимальной концентрации образца, при которой антиоксидантный эффект будет максимальным. В каждый образец были добавлены образцы антиоксидантов в концентрации 0,05 % и 0,1 % от массы модельной системы и поместили их в термостат при 37 °С. Также были взяты контрольные пробы без добавления образцов, которые хранились вместе со всеми остальными образцами в тех же усло-

виях. Данный диапазон концентраций был подобран на основе данных из научной литературы. В течение 30 дней проводились измерения с интервалом в 5 дней. На основе статистической обработки данных были построены графические зависимости, показывающие динамику изменения гидролитической порчи и накопления первичных и вторичных продуктов окисления. Было обнаружено, что каждый вид антиоксиданта имеет свою характерную зависимость от времени в накоплении продуктов окисления.

Для исследования различий механизмов действия антиоксидантов (АО) была предложена рабочая гипотеза.

В соответствии с этой гипотезой, все АО можно разделить на две категории в зависимости от их механизма действия: прямого и косвенного (Манукьян, 2009).

Антиоксиданты прямого действия классифицируются по пяти основным классам. Первый класс включает вещества, которые являются донорами протона. Эти вещества имеют атом водорода, который может легко перемещаться и связывать свободные радикалы, превращая их в менее активные соединения. К ним относятся такие представители, как дигидрохверцетин, витамины С и Е (Манукьян, 2009).

Второй класс антиоксидантов — это полиены. Эти вещества содержат несколько ненасыщенных связей и способны взаимодействовать с различными свободными радикалами, присоединяя их ковалентной связью вдоль двойной связи. Хотя полиены обладают невысокой антиоксидантной активностью, их эффект значительно усиливается при совместном использовании с донорами протона. Витамин А является представителем этого класса.

Третий класс — катализаторы. Они эффективны при низких концентрациях и могут использоваться в небольших дозах. Катализаторы также характеризуются длительным действием в организме и низкой вероятностью побочных эффектов. Селен (селенопиран) и цинк (цитрат цинка) являются представителями этого класса.

Четвертый класс — ловушки радикалов — это антиоксиданты, которые обладают высокой способностью привлекать определенные свободные радикальные про-

дукты (такие как синглетный кислород, гидроксильные радикалы и другие). Примеры таких антиоксидантов включают дигидрохверцетин, L-карнозин, селен, а также витамины А, С и Е.

Пятый класс — комплексообразователи (хелаторы) — это вещества, которые ингибируют металлозависимые реакции свободнорадикального окисления путем связывания катионов металлов переходной валентности, которые катализируют образование активных форм кислорода. Один из примеров таких веществ является L-карнозин.

Таким образом, смеси антиоксидантов с разными механизмами действия могут быть гораздо более эффективными, чем использование отдельных антиоксидантов. Важным аспектом при разработке антиоксидантного комплекса является определение оптимальных соотношений антиоксидантов, которые обеспечивают наилучший антиоксидантный эффект.

Для наглядности результаты определения кислотного числа приведены в виде диаграммы, представленной на Рисунке 5.

Порча контрольного образца протекает стандартно, что подтверждает нормальные условия проведения эксперимента. Образцы с добавлением поликомпонентных препаратов портятся медленнее, скачкообразных изменений не наблюдается. На диаграмме (Рисунок 6) видно, что с наименьшей скоростью гидролитическая порча протекает в образце гвоздика-кумин концентрацией 0,1 % к массе сырья, что свидетельствует о большей активности данного препарата.

Рисунок 5

Динамика изменения кислотного числа в модельных липидных системах

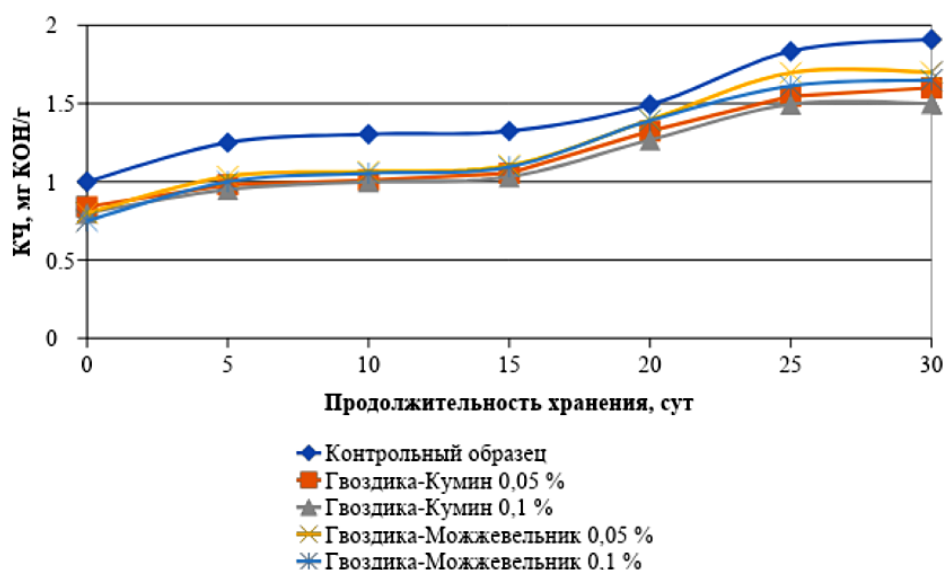


Рисунок 6

Динамика накопления первичных продуктов окисления (ПЧ) в модельных системах

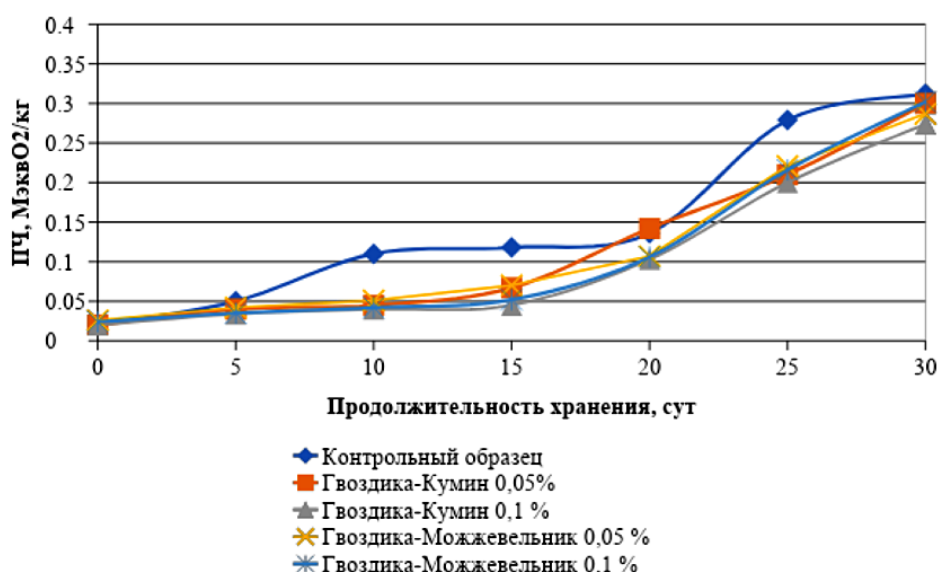
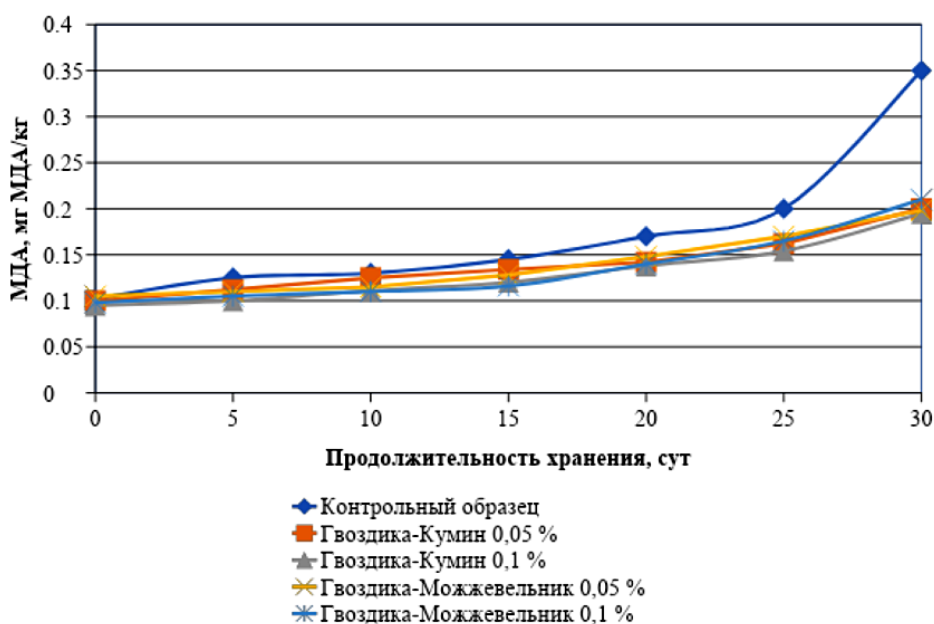


Рисунок 7

Динамика накопления вторичных продуктов окисления (МДА) в модельных системах



На диаграмме (Рисунок 7) видно, что в образце шпика без добавления компонентного фитопрепарата антиоксиданта, процесс окисления протекает более интенсивно, а динамика изменения соответствует теории окисления академика Н.Н. Семенова. Наибольшее ингибирование было достигнуто с применением препарата гвоздика-кумин концентрацией 0,1 % к массе сырья. Это связано с высоким содержанием в гвоздике и кумине эфирных масел, которые способствуют замедлению порчи как окислительной, так микробальной.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Образцы Гвоздика-Кумин (0,1 %) и Гвоздика-Можжевельник (0,1 %) показали наилучшие результаты в сравнительном анализе. Значения кислотного числа (КЧ), перекисного числа (ПЧ) и малонового диальдегида (МДА) были ниже в этих образцах по сравнению с контрольными образцами, в которые не добавлялись антиоксиданты. Это означает, что использование этих комбинаций ингредиентов может помочь улучшить антиоксидант-

ные свойства мясных продуктов и сделать их более здоровыми для потребления.

Модели, в которые были внесены поликомпонентные препараты антиоксидантов, сохраняли начальные свойства дольше, поскольку гвоздика и кумин содержат в своем составе кареофиллен, эвентол и тимол, которые оказывают биоцидное воздействие, что доказывает перспективность использования данных препаратов для пролонгирования сроков хранения мясных и мясосодержащих продуктов.

Установлено, что препарат гвоздика-кумин концентрацией 0,1 % обладает более высокой антиоксидантной активностью по сравнению с другими анализируемыми антиоксидантами.

Природные антиоксиданты, как правило, дают положительный результат в больших количествах. Однако, многие представители этой группы веществ имеют двухэтапное действие, то есть их антиоксидантное действие меняется на прооксидантное при превышении определенного порога.

ЛИТЕРАТУРА

- Афанасьева, Ю. Г., Шайдуллина, Г. Г., Фархутдинов, Р. Р., Афанасьев, В. А., & Золотарев, М. С. (2017). Антиоксидантная активность сухих экстрактов из листьев смородины черной. *Медицинский вестник Башкортостана*, 12, 53–56.
- Багавиева, Т. К., Просенко, А. Е., & Кандалинцева, Н. В. (2020). Серосодержащие антиоксиданты на основе ряда природных и биологически активных фенольных соединений. В *Материалы X Международной конференции, посвященной 105-летию со дня рождения академика Н. М. Эмануэля*, (с. 6–7).
- Баженова, Б. А., Жамсаранова, С. Д., Замбулаева, Н. Д., Забалуева, Ю. Ю., Герасимов, А. В., & Сынгеева, Э. В. (2020). Пути повышения сохранности природных антиоксидантов в мясных изделиях. *Известия вузов. Прикладная химия и биотехнология*, 10, 84–94. <https://doi.org/10.21285/2227-2925-2020-10-1-84-94>
- Гизингер, О. А., & Дадали, В. А. (2021). Свободнорадикальное, перекисное окисление и природные антиоксиданты. *Терапевт*, 9, 36–44.
- Гордынец, С., & Напреенко, В. (2017). Влияние растительного сырья на сроки хранения мясной фаршевой системы. *Наука и инновации*, 5, 37–39.
- Икрами, М. Б., Тураева, Г. Н., & Шарипова, М. Б. (2020). Изучение возможности применения растительных фенольных соединений для предотвращения порчи мясных продуктов. *Международный научно-исследовательский журнал*, 3–1, 134–137. <https://doi.org/10.23670/IRJ.2020.93.3.022>
- Кароматов, И. Д., & Халилова, Р. С. (2021). Перспективное лекарственное растение — гвоздичное дерево. *Биология и интегративная медицина*, 3, 115–135.
- Ковалева, А. В. (2016) *Применение фитоэкстрактов, фитосиропов и пробиотиков в производстве хлебобулочных изделий* [Диссертация кандидата технических наук, ПГУ]. Орел, Россия.
- Лесовская, М. И., Кабак, Н. Л., & Игошин, А. С. (2021). Сравнение антиоксидантной активности экзотических специй и местных пряных трав. *The scientific heritage*, 81–2, 24–27. <https://doi.org/10.24412/9215-0365-2021-81-2-24-27>
- Манукьян, Г. Г. (2009). *Разработка специализированного продукта с использованием антиоксидантов природного происхождения для питания спортсменов* [автореферат диссертации кандидата технических наук, МГУПБ]. Москва, Россия.
- Патракова, И. С., Гуринович, Г. В., Мышалова, О. М., Серегин, С. А., & Патшина, М. В. (2021). Окислительно-восстановительный потенциал как показатель стабильности мясных систем. *Ползуновский вестник*, 1, 66–73. <https://doi.org/10.25712/ASTU.2072-8921.2021.01.009>
- Позднякова, Т. А., Кулешова, Е. С., & Бубенчиков, Р. А. (2021). Перспективы использования астрагала эспарцетного

Таким образом, результаты исследований показали, что разработанные поликомпонентные фитоэкстракты обладают биоантиоксидантными свойствами и могут быть использованы для коррекции патологических процессов, связанных с нарушением окислительного гомеостаза. Эти экстракты могут ингибировать образование активных форм кислорода и реакции перекисного окисления липидов, что может быть полезным для здоровья.

ВКЛАД АВТОРОВ

Кидяев С.Н.: концептуализация, создание модели исследования, руководство исследованием, создание черновика рукописи.

Литвинова Е.В.: создание рукописи и её редактирование.

Лапшина В.Л.: предоставление реагентов и материалов, деятельность по аннотированию.

Кашеварова И.А.: визуализация, проведение исследования.

в качестве источника природных антиоксидантов. *Медико-фармацевтический журнал Пульс*, 3, 47–53.

Савельева, Е. Е., & Ефремов, А. А. (2017). Антиоксидантная активность эфирных масел некоторых дикорастущих древесных растений Сибири. *Вестник КрасГАУ*, 2, 141–147.

Самусенко, А. Л. (2014). Изучение зависимости антиоксидантной активности эфирных масел почек гвоздики, лимонной травы, кардамона и ягод можжевельника от концентраций масла методом капиллярной газовой хроматографии. *Химия*

растительного сырья, 2, 97–102. <https://doi.org/10.14258/jcprm.1402097>

Тридворнов, И. П., & Кузьмина, Н. Н. (2019). Сравнительная оценка влияния природного антиоксиданта и газомодифицированной среды на структурно-механические свойства фаршей. *Молодой исследователь: от идеи к проекту*, 57–88.

Хамидова, М. О., Абдурахимов, С. А., Ходжаев, С. Ф., & Акрамова, Р. Р. (2021). Исследование окислительного процесса жировой основы маргарина. *Universum: химия и биология*, 3–2, 26–29.

REFERENCES

Afanasyeva, Yu. G., Shaidullina, G. G., Farkhutdinov, R. R., Afanasyev, V. A., & Zolotarev, M. S. (2017). Antioxidant activity of dry extracts from black currant leaves. *Medicinskij vestnik Bashkortostana*, 12, 53–56.

Bagavieva, T. K., Prosenko, A. E., & Kandalintseva, N. V. (2020). Sulfur-containing antioxidants based on a number of natural and biologically active phenolic compounds. In *Materialy X Mezhdunarodnoj konferencii, posvyashchennoj 105-letiyu so dnya rozhdeniya akademika N. M. Emanuelya* [Proceedings of the X International Conference dedicated to the 105th anniversary of the birth of Academician N. M. Emanuel], (p. 6–7).

Bazhenova, B. A., Zhamsaranova, S. D., Zambulaeva, N. D., Zabalueva, Yu. Yu., Gerasimov, A. V., & Syngееva, E. V. (2020). Ways to increase the safety of natural antioxidants in meat products. *Izvestiya vuzov. Prikladnaya himiya i biotekhnologiya*, 10, 84–94. <https://doi.org/10.21285/2227-2925-2020-10-1-84-94>

Giesinger, O. A., & Dadali, V. A. (2021). Free radical, peroxidation and natural antioxidants. *Terapevt*, 9, 36–44.

Gordynets, S., & Napreenko, V. (2017). The influence of plant raw materials on the shelf life of the minced meat system. *Nauka i innovacii*, 5, 37–39.

Ikrami, M. B., Turaeva, G. N., & Sharipova, M. B. (2020). Studying the possibility of using plant phenolic compounds to prevent spoilage of meat products. *Mezhdunarodnyj nauchno-issledovatel'skij zhurnal*, 3–1, 134–137. <https://doi.org/10.23670/IRJ.2020.93.3.022>

Karomatov, I. D., & Khalilova, R. S. (2021). A promising medicinal plant is the clove tree. *Biologiya i integrativnaya medicina*, 3, 115–135.

Kovaleva, A. V. (2016) *The use of phytoextracts, phytosyrups and probiotics in the production of bakery products* [Candidate Dissertation, PSU]. Orel, Russia.

Lesovskaya, M. I., Kabak, N. L., & Igoshin, A. S. (2021). Comparison of antioxidant activity of exotic spices and local herbs. *The scientific heritage*, 81–2, 24–27. <https://doi.org/10.24412/9215-0365-2021-81-2-24-27>

Manukyan, G. G. (2009). *Development of a specialized product using antioxidants of natural origin for the nutrition of athletes* [Abstract of the Candidate Dissertation, Moscow State University of Applied Biotechnology]. Moscow, Russia.

Patrakova, I. S., Gurinovich, G. V., Myshalova, O. M., Seregin, S. A., & Patshina, M. V. (2021). Redox potential as an indicator of the stability of meat systems. *Polzunovskij vestnik*, 1, 66–73. <https://doi.org/10.25712/ASTU.2072-8921.2021.01.009>

Pozdnyakova, T. A., Kuleshova, E. S., & Bubenchikov, R. A. (2021). Prospects for using Astragalus sainfoin as a source of natural antioxidants. *Mediko-farmaceuticheskij zhurnal Pul's*, 3, 47–53.

Savelyeva, E. E., & Efremov, A. A. (2017). Antioxidant activity of essential oils of some wild woody plants of Siberia. *Vestnik KrasGAU*, 2, 141–147.

Samusenko, A. L. (2014). Study of the dependence of the antioxidant activity of essential oils of clove buds, lemongrass, cardamom and juniper berries on oil concentrations using capillary gas chromatography. *Himiya rastitel'nogo syr'ya*, 2, 97–102. <https://doi.org/10.14258/jcprm.1402097>

Tridvornov, I. P., & Kuzmina, N. N. (2019). Comparative assessment of the influence of a natural antioxidant and a gas-modified environment on the structural and mechanical properties of minced meat. *Molodoj issledovatel': ot idei k proektu*, 57–88.

Khamidova, M. O., Abdurakhimov, S. A., Khodzhaev, S. F., & Akramova, R. R. (2021). Study of the oxidative process of the fatty base of margarine. *Universum: himiya i biologiya*, 3–2, 26–29.

<https://doi.org/10.36107/hfb.2023.i3.s183>

УДК 338.439

Линейная экономика предприятий индустрии питания и способы повышения её эффективности и экологичности

А.А. Люшнина, О.А. Суворов, Т.Ю. Токарева

Российский биотехнологический университет (РОСБИОТЕХ), Москва, Россия

Корреспонденция:

Люшнина Алиса Андреевна,
Российский биотехнологический университет (РОСБИОТЕХ),
125080, Россия, г. Москва,
Волоколамское шоссе, 11
E-mail: lyushninaa@yandex.ru

Конфликт интересов:

авторы сообщают об отсутствии конфликта интересов.

Поступила: 09.10.2023

Поступила после

рецензирования: 16.11.2023

Принята: 05.12.2023

Copyright: © 2023 Авторы

АННОТАЦИЯ

Введение. В настоящее время большинство предприятий индустрии питания имеют линейную экономику в своем производстве, эффективность которой в экономическом, экологическом и социальном направлении ниже, чем экономика замкнутого цикла. Объектом исследования является деятельность предприятий общественного питания, предметом исследования — влияние линейной экономики предприятий общественного питания, в первую очередь, на экологию.

Цель — проанализировать возможности улучшения существующей линейной экономики путем минимизирования отходов производства.

Результаты. Рассмотрены возможности улучшения существующей линейной экономики путем минимизирования отходов производства, а также возможность перехода на модель экономики замкнутого цикла в организациях общественного питания в настоящее время. По данным Росстата количество предприятий индустрии питания на территории РФ увеличилось на 3 863 единицы с 2020 года. Согласно федеральному классификационному каталогу отходов Роспотребнадзора отходы кухонь и организаций общественного питания несортированные прочие принадлежат к 4 классу опасности, и отсутствие системы сортировки отходов может привести к неблагоприятным изменениям экосистемы.

Выводы. Сокращение вреда окружающей среде посредством минимизирования пищевых и непищевых отходов, а также качественной сортировки отходов и передачи на утилизацию и переработку без попадания на свалки, способно снизить скорость роста количества свалок и их объема, и, тем самым, ускорить и облегчить процесс перехода на экономику замкнутого цикла. Стоит отметить, что культура поведения граждан по отношению к сбору, сортировке и утилизации отходов также имеет большое значение. Прививая культуру осознанного потребления, включающую в себя минимизацию отходов, использование экологического сырья, разделение и ликвидацию мусора для дальнейшей переработки, предприятия индустрии питания способны улучшить экологическую обстановку. Полученные результаты и сделанные из них выводы создают основу понимания линейной экономики предприятий индустрии питания и предполагают способы для ее совершенствования.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА

индустрия питания; экономика замкнутого цикла; экология.



Для цитирования: Люшнина, А. А., Суворов, О. А., & Токарева Т. Ю. (2023). Линейная экономика предприятий индустрии питания и способы повышения её эффективности и экологичности. *Health, Food & Biotechnology*, 5(3), 22–31. <https://doi.org/10.36107/hfb.2023.i3.s183>

<https://doi.org/10.36107/hfb.2023.i3.s183>

Linear Economics of Food Industry Enterprises and Ways to Improve its Efficiency and Environmental Friendliness

Alice A. Lyushnina, Oleg A. Suvorov, Tatyana Yu. Tokareva

Russian Biotechnological University
(BIOTECH University), Moscow, Russia

Correspondence:

Alice A. Lyushnina,
Russian Biotechnological University, 1
1, Volokolamskoe highway, Moscow,
125080, Russia
E-mail: lyushninaa@yandex.ru

Declaration of competing interest:
none declared.

Received: 09.10.2023

Received in revised form: 16.11. 2023

Accepted: 05.12.2023

Copyright: © 2023 The Authors

ABSTRACT

Introduction. Currently, most enterprises in the food industry have a linear economy in their production, but its efficiency in economic, environmental and social terms is lower than the circular economy. The article studies the activities of public catering enterprises and the influence of the linear economy of public catering enterprises on the environment.

Purpose. The article analyzes the possibilities of improving the existing linear economy by minimizing production waste.

Results. This opinion article considers the possibilities of improving the existing linear economy by minimizing production waste, as well as the possibility of transitioning to a circular economy model in public catering organizations at the present time. According to Rosstat, the number of food industry enterprises in the Russian Federation has increased by 3,863 units since 2020. According to the federal waste classification catalog of Russian consumer protection agency Rospotrebnadzor, other unsorted waste from kitchens and public catering organizations belongs to hazard class 4, and the absence of a waste sorting system can lead to adverse changes in the ecosystem.

Conclusions. Reducing environmental harm by minimizing food and non-food waste, as well as high-quality waste sorting and transfer for disposal and recycling without ending up in landfills, can reduce the rate of growth in the number of landfills and their volume, and thereby speed up and facilitate the process of transition to a circular economy cycle. It is worth noting that the culture of behavior of citizens in relation to the collection, sorting and disposal of waste is also of great importance. By instilling a culture of conscious consumption, which includes minimizing waste, using environmentally friendly raw materials, separating and eliminating waste for further processing, food industry enterprises are able to improve the environmental situation. The results obtained and the conclusions drawn from them create the basis for understanding the linear economics of food industry enterprises and suggest ways to improve it.

KEYWORDS

public catering; closed-loop economy; ecology



To cite: Lyushnina, A. A., Suvorov, O. A. & Tokareva T. Yu. (2023). Linear economics of food industry enterprises and ways to improve its efficiency and environmental friendliness. *Health, Food & Biotechnology*, 5(3), 22–31. <https://doi.org/10.36107/hfb.2023.i3.s183>

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время большинство предприятий индустрии питания имеют линейную экономику в своем производстве, эффективность которой в экономическом, экологическом и социальном направлении ниже, чем экономика замкнутого цикла. Объектом исследования является деятельность предприятий общественного питания Российской Федерации, предметом исследования – влияние линейной экономики предприятий общественного питания, в первую очередь, на экологию. Актуальность решения проблемы минимизации пищевых и непищевых отходов, организации безотходных производств и повторного использования переработанного сырья не вызывает сомнений как с экологической, так и с технико-технологической и экономической точек зрения. Основные тренды в изучении освещаемой проблематики связаны с малоотходными и безотходными решениями для обеспечения экологически чистого производства, разработкой ресурсосберегающих технологий для создания замкнутых циклов с полным использованием поступающего сырья и отходов. В настоящем исследовании рассматривается вопрос возможности перехода на модель экономики замкнутого цикла на предприятиях индустрии питания, что позволит заполнить имеющийся пробел в указанной области знаний. Ключевая цель данной работы – поиск и анализ возможностей улучшения существующей линейной экономики путем минимизирования отходов производства.

Мы изучили и проанализировали научную литературу, нормативные документы, статистические данные (Росстат, Роспотребнадзор) и данные интернет-источников в области организации линейной экономики предприятий индустрии питания и способов ее улучшения для благоприятного воздействия на экологическую, технико-технологическую и экономическую составляющие

производственного процесса. Предлагаем рассмотреть ключевые блоки, которые играют важную роль в улучшении существующей линейной экономики путем минимизирования отходов производства.

Анализ ситуации рынка предприятий индустрии питания

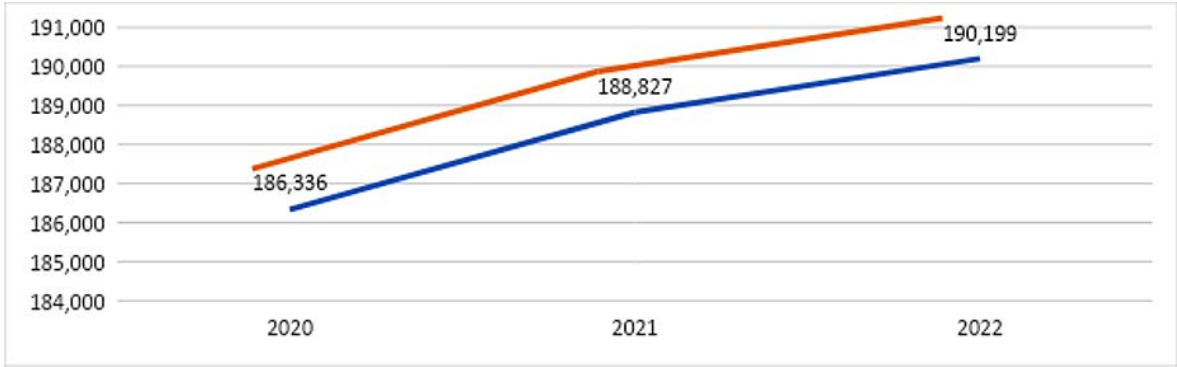
Отрасль общественного питания в России развивается, несмотря на трудности во время пандемии. Многие заведения закрылись, но общее количество организаций растет. Согласно данным Росстата количество предприятий индустрии питания увеличилось на 3 863 единицы с 2020 года (диаграмма 1). За первые 3 месяца 2023 года количество предприятий индустрии питания увеличилось на 654 единицы по всей стране и составило 190 853.¹

Проанализировав оборот предприятий индустрии питания РФ за 2020–2022 год, согласно данным Росстата, можно сделать вывод о том, что отрасль общественного питания является актуальной на данный момент, замечен рост количества предприятий, а также увеличение оборота данной сферы (Таблица 1).²

Таблица 1
Оборот общественного питания по РФ в млн рублей

Год	2020	2021	2022
Оборот общественного питания по Российской Федерации (млн рублей)	1 447 412,8	1 931 411,1	2 350 146,5
Процентное увеличение	100 %	133 %	162 %

Диаграмма 1
Количество предприятий индустрии питания РФ за 2020–2022 гг.



¹ (2023). Розничная торговля и общественное питание. Росстат. <https://rosstat.gov.ru/statistics/roznichnayatorgovlya>
² Там же.

Линейная экономика предприятий индустрии питания

На данный момент большинство предприятий общественного питания использует линейную экономику в своем производстве. Упрощённо схема данной экономики выглядит следующим образом (схема 1).

Поставщики отправляют продукцию на предприятие, в котором затем происходит использование данной продукции (подготовка продуктов, приготовление полуфабрикатов и блюд, сервировка и упаковка, мытье). Цель данных действий — предоставить потребителям готовый продукт как в зале, так и с помощью доставки. Главный минус линейной экономики заключается в выработке отходов на каждом этапе в цепи производств предприятий.

Анализируя схему линейной экономики в индустрии питания, можно выделить основные твёрдые отходы:

- пищевые отходы, образованные при приготовлении и потреблении блюд;
- непищевые отходы, образованные при приготовлении и потреблении блюд.

Данные отходы являются твёрдыми коммунальными отходами, которые, отправляясь на свалки, наносят ущерб окружающей среде.

Отходы предприятий индустрии питания с линейной экономикой

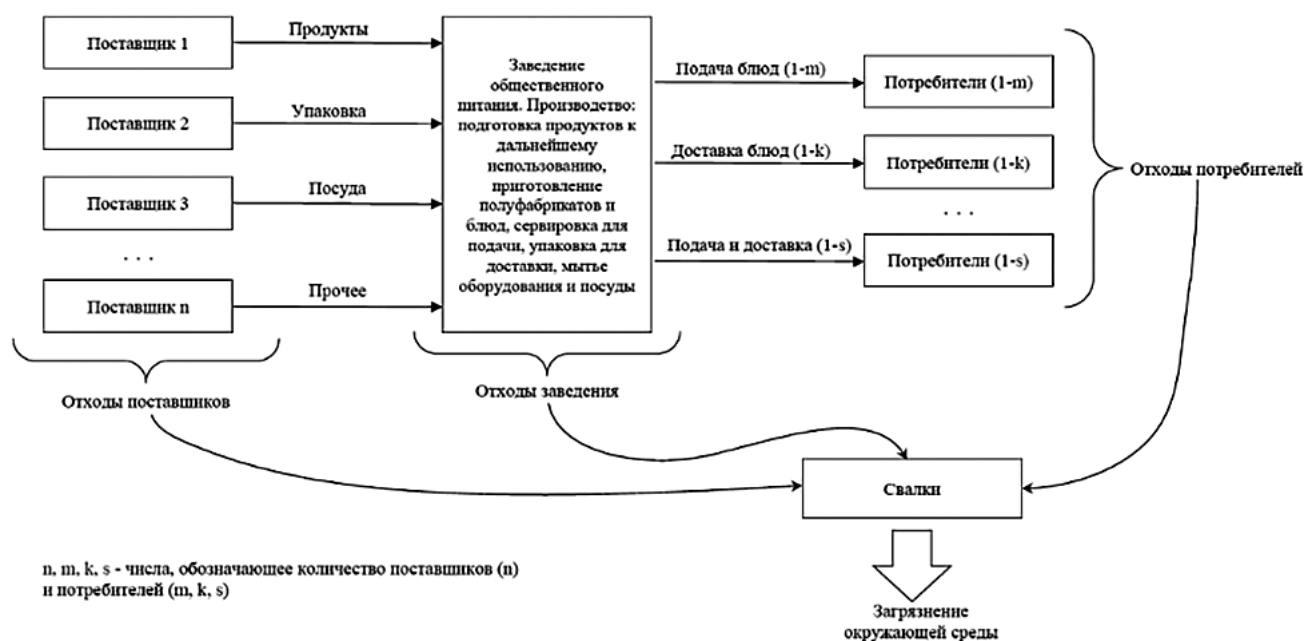
По качественному составу твёрдые отходы можно разделить следующим образом:

- непищевые отходы (пластик, полиэтилен, стекло, макулатура, металл)
- пищевые отходы.

Согласно федеральному классификационному каталогу отходов Роспотребнадзора: отходы кухонь и организаций общественного питания несортированные прочие (код: 7 36 100 02 72 4) принадлежат к 4 классу опасности (малоопасные отходы с низкой степенью негативного воздействия на окружающую среду, время восстановления после ущерба около 3 лет)³. В случае, если предприятия общественного питания не сортируют отходы, весь мусор попадает на свалки, из-за чего происходят неблагоприятные изменения экосистемы. В зону воздействия тела полигона попадает геологическая среда, подземные воды, воздушная среда, а также поверхностные воды, донные отложения, почвенный и растительный покров прилегающих территорий, что приводит к изменению всех компонентов естественной природной экосистемы (Витковская, 2012).

Схема 1

Линейная экономика общественного питания



Примечание. n — количество поставщиков; m, k, s — количество потребителей.

³ (2023). Федеральный классификационный каталог отходов. Росприроднадзор. <https://rpn.gov.ru/fkko/73610002724/>

Вред твердых отходов предприятий

(1) Пищевые отходы

В 2020 г. объем пищевых отходов составил 17,9 млн тонн. Это более 25 % всех твердых коммунальных отходов (ТКО), образующихся в стране. 29 % — отходы ритейла и организаций общественного питания. Воздействие пищевых отходов на климат равен 64 млн тонн CO₂ — эквивалента, а, значит, 18,56 млн тонн из них — углеродный след ритейла и предприятий индустрии питания. Пищевые отходы не только увеличивают объём свалок, но и загрязняют другие фракции, снижая возможности их сортировки и утилизации. Пищевые отходы — источники парниковых газов, в том числе метана.⁴

(2) Непищевые отходы

Пластик

Пластик разлагается более 200 лет. Попадая в почву, пластик распадается на маленькие частицы, и под действием факторов окружающей среды выделяются химические вещества, которые часто добавляют в пластик на производстве (Пакулев, Начарова, 2020).

Полиэтилен

Пластиковый пакет разлагается в естественных условиях до 500 лет. От полиэтиленовых пакетов, которые попадают в организм животных с пищей, гибнет домашний скот, морские птицы, животные и рыбы, а также дикие животные (Абрамов, Дрозд, 2019).

Стекло, макулатура, металл

С 1 января 2018 г. и 1 января 2019 г. соответственно запрещается захоронение отходов содержащий цветной и чёрный металлолом; отходов, содержащих бумагу, стеклянную тару согласно федеральному закону от 24.06.1998 № 89-ФЗ «Об отходах производства и потребления», распоряжение правительства РФ от 25 июля 2017 года № 1589-р «Об утверждении перечня видов отходов производства и потребления, в состав которых входят полезные компоненты, захоронение которых запрещается».

Тем не менее, на данный момент значительную часть всех отходов на свалках занимают бумага, стекло, металл. Данные отходы хорошо подвержены утилизации и переработке, но из-за того, что большая часть отходов, отправляющихся на свалки, является не сортируе-

мыми отходами, возникают проблемы с последующей переработкой.

По итогам 2021 года количество твердых коммунальных отходов более 48 млн тонн. Количество отходов вместе с производственными отходами 8,5 млрд тонн. Сейчас объектов для размещения, утилизации, сортировки и обработки таких объемов в России недостаточно. Сейчас на полигоны возвращается 93 % отходов, из них около 7 % идет на переработку⁵.

Экологическая проблема как никогда актуальна, а причина её носит антропогенный характер. Доля отходов производится организациями общественного питания с линейной экономикой. Данная экономика упрощает процессы производства, но у неё есть существенный недостаток: она наносит экологический ущерб из-за отходов производств. Наиболее актуальными способами сохранить и впоследствии улучшить экологическую обстановку является минимизация использования пластиков и полимеров на предприятиях общественного питания, использование экологичных альтернатив и сортировка мусора.

Пищевые отходы и методы их минимизации

К пищевым отходам предприятий общественного питания относятся:

(1) просроченные продукты;

Причины возникновения продуктов с истёкшим сроком годности: не реализация данных продуктов из-за недостатка спроса на блюда, в состав которых они входят, потребителей; нарушение условий хранения, в следствие которого продукты становятся непригодными для использования; нерациональное использование продуктов в процессе производства полуфабрикатов или блюд; некачественная инвентаризация, которая приводит к неиспользованию тех или иных продуктов питания.

Минимизировать этот вид пищевых отходов возможно при грамотно выстроенной организации работы кухни, а именно с помощью:

1) инвентаризации;

Регулярная инвентаризация на складах помогает понять, какое сырьё необходимо закупить, а какого слишком много на складах. Существуют разные системы инвентаризации, наиболее полноценная —

⁴ (2023). ESG-подход к решению проблемы нерационального использования продовольствия в России. ТИАР-Центр. <https://tiarcenter.ru/foodsharing-2022/>

⁵ Платонова, А. (2003). Глава Росприроднадзора Светлана Радионова — о том, почему 93 % мусора оказывается на свалках. Известия. <https://iz.ru/>

полная инвентаризация. Она проводится в обязательном порядке после закрытия всех смен в ресторане в последний день месяца по всем группам товаров с последующим отчетом по учёту складских остатков по выбранной группе товаров. Количество экземпляров отчета зависит от количества подразделений (цехов) на производстве. В полной инвентаризации участвуют шеф-повар, бухгалтер-калькулятор и все работающие сотрудники, несущие материальную ответственность в рамках своего подразделения (цеха) (Василенко, Каретникова, 2018).

- 2) хранения продуктов питания;
Условия хранения продуктов должны соответствовать СанПиН 2.3.2.1324–03 «Гигиенические требования к срокам годности и условиям хранения пищевых продуктов».
- 3) систематизированного контроля;
На предприятиях общественного питания должна быть строгая система обязанностей всех работников кухни. Данная система должна носить иерархичный характер контроля. Для каждого этапа производства необходимо составить эталон, который внесёт ясность в задачи работников и предоставит возможность единого контроля. Это поможет выявить недостатки производства, которые затем следует оптимизировать и подвергнуть корректировкам.
- 4) анализа актуальности меню.
Искусственный интеллект может использоваться предприятием в целях исследования поведения клиентов и анализа тенденций в заказе, снижения количества пищевых отходов (Михеев, 2023).

Соблюдение норм хранения продуктов, регулярная инвентаризация, контроль производства и анализ актуальности меню в заведениях общественного питания способны систематизировать все процессы производства, выявить и исправить недостатки, уменьшить количество нереализуемых продуктов и, соответственно, минимизировать пищевые отходы, связанные с истёкшим сроком их годности.

- (2) недопустимые для реализации продукты;

Части продуктов, которые не допускаются для потребления — это продукты, которые образуются при обработке основного сырья (очистки от овощей и фруктов, кости и кожа от мяса, рыбы и прочее). Минимизирование данного вида отходов в значительной степени — реальная задача на данный момент. Сейчас нет технологий для использования пищевых остатков от приготовления на пищевых производствах. Данную часть отходов можно в незначительной степени уменьшить путем оптимизации производства и введения эталонов

для каждого из этапов приготовления, в частности для этапа подготовки сырья, в котором и образуется большая часть данных отходов.

- (3) пищевые остатки от потребителей

Причины возникновения оставленной пищи, несъеденной потребителем, в заведениях общественного питания могут быть разными. Самыми распространенными являются насыщение организма потребителя и неудовлетворенность в качестве блюда. Для того, чтобы уменьшить количество пищевых отходов в виде остатков еды необходимо получать и анализировать обратную связь потребителей.

В случае насыщения потребителя, можно предложить упаковать еду с собой. Данное действие не устранило проблему в корне, но сможет выявить её. Проблема может содержаться в том, что в блюде переизбыток энергетической и пищевой ценности. Если же наблюдается такая закономерность поведения потребителей относительно некоторых позиций меню, необходимо принять меры для решения этой задачи: уменьшить порцию или изменить рецептуру для уменьшения энергетической и пищевой ценности. Также необходимо информировать потребителей об объеме порции, энергетической и пищевой ценности во избежание недоедания от насыщения или же переизбытка.

Если же человек не удовлетворен качеством блюда, следует уточнить, что именно не понравилось и предоставить данную информацию работникам кухни. Это поможет выявить случайную ошибку или закономерность при приготовлении блюд. Для того, чтобы работать с возражениями, и избежать субъективной оценки необходимо получить большой объем информации о блюдах от самих потребителей, то есть массово спрашивать посетителей заведения об их мнении о блюдах. Большой объем сведений по каждой из позиций меню поможет выявить актуальные и неактуальные блюда, оптимизировать рецептуры и технологии блюд, если выявляется закономерность негативных отзывов об определенной позиции.

Мнение потребителей заведения общественного питания — очень важная информация, при анализе которой, можно выявить основные тенденции поведения потребителей, актуализировать меню для увеличения удовлетворенности и тем самым, минимизировать пищевые остатки и увеличить прибыль.

Непищевые отходы и методы их минимизации

Для организации общественного питания причины образования неорганических отходов — это, прежде всего, использование средств личной гигиены (салфетки, зубочистки и прочее), упаковки для доставки блюд, образование непригодной для использования посуды.

Основные способы минимизации данных отходов — это использование экологичного сырья для упаковки и обеспечения средств гигиены; бережное отношение к использованию посуды и другого оборудования как со стороны работников, так и потребителей.

Упаковка

Замена классической упаковки на её биоразлагаемые аналоги — один из наиболее потенциально успешных методов борьбы с загрязнением пластика. Упаковочные материалы на основе биополимеров исследуются и разрабатываются как в России, так и во всём мире.

На данный момент актуальными для российских предприятий индустрии питания в качестве упаковки являются полимеры на биооснове:

1. Упаковка из хитина и хитозана
Хитин и хитозан используются в производстве биоразлагаемых пленок для упаковки. Они характерны антимикробными свойствами по отношению к различным грибкам, дрожжам и бактериям (Мяленко, 2023).
2. Упаковка из пластифицированного крахмала
Сырьевые источники пластифицированного крахмала (TPS) — пшеница, рис, картофель и кукуруза. В России такая упаковка также изготавливается (Мяленко, 2023).
3. Сахарный тростник
Посуда из сахарного тростника, обладает низкой стоимостью, её можно использовать во многих заведениях общественного питания (Стрельченко, 2020).

Средства личной гигиены

Бумажные салфетки и зубочистки изготавливают из древесины. Данные отходы не несут большого вреда для окружающей среды при правильной сортировке отходов. Средства в индивидуальной упаковке,

в том числе, влажные салфетки — наносят большой урон из-за своей упаковки. Использование средств без индивидуальной упаковки, которые широко распространены на рынке, либо поиск альтернатив данных средств в экологической упаковке ведут к сокращению экологического вреда.

Посуда

Большая часть предприятий индустрии питания используют легко бьющуюся посуду, в частности, выполненную из стекла. В последние годы средний общемировой объём производства стекла превышает 130 миллионов тонн, 5 % — это посуда (Луш, Парамонова, 2023). Стекло можно перерабатывать неограниченное количество раз (Собакар, 2022). Стекло широко применяется для изготовления посуды. На данный момент стекло составляет примерно 12 % ТКО (Аношина, Бирюкова, Фролов, Седляров, 2022). По итогам 2021 года количество твёрдых коммунальных отходов составило 48 млн тонн, количество отходов вместе с производственными отходами 8,5 млрд тонн⁶. Анализируя данную информацию, можно сделать вывод, что примерно 5,76 млн тонн и 1,02 млрд тонн соответственно — отходы, которые представляют из себя стекло.

Сортировка отходов

Безотходное производство на предприятиях общественного питания пока невозможно, так как на данный момент не существует таких технологий и инноваций, которые могли бы перерабатывать все виды отходов с последующим изготовлением вторичного сырья, готового к использованию на предприятиях. Тем не менее, существуют методы борьбы, которые направлены на сокращение вреда экологической ситуации, самым актуальным из которых является сортировка мусора. На данный момент только 7 % всех твердых коммунальных отходов отправляются на переработку.⁷ Данный показатель крайне малоэффективен. Из-за недостатка инноваций по разделению мусора на свалках, требуется создать цепь передачи отходов, для которой отсутствует такая точка цепи, как свалка. Благодаря транспортировке отходов сразу на перерабатывающие заводы количество поставляемых отходов на свалки уменьшится, а изготовление сырья из переработанных материалов увеличит обороты. Для того, чтобы отходы отправлялись на точки переработки, а не на свалки, необходимо применять сортировку мусора в заведениях общественного питания. Разделение мусора должно происходить

⁶ Платонова, А. (2003). Глава Росприроднадзора Светлана Радионова — о том, почему 93 % мусора оказывается на свалках. Известия. <https://iz.ru/>

⁷ Там же.

согласно качественному составу отходов: пищевые отходы, непищевые отходы (макулатура, пластик, стекло, металл и прочее). Каждому из видов отходов согласно составу, из которого он изготовлен, необходимо обеспечить отдельный удобный бокс для хранения. Не пищевые отходы перед сортировкой следует очищать для возможности дальнейшей переработки. Проведение сортировки должно контролироваться в каждой организации общественного питания.

Важным из этапов для перехода на такую модель утилизации отходов является поиск компаний, занимающихся переработкой, и заключение с ними договоров. Компании, занимающиеся переработкой отходов, наиболее развиты и широко представлены в Москве и московской области, в отличие от остальных российских регионов. В Москве созданы благоприятные условия для переработки отходов, это позволяет столичным предприятиям общественного питания проще переходить на такую модель отношений с отходами. В других регионах России переработка развита не так сильно, но для больших городов всё-таки существуют некоторые варианты переработки отходов посредством сортировки.

Очень важным этапом сортировки является сортировка пищевых отходов. Пищевые отходы, попадая на свалки, способствуют увеличению объёма отходов, мешают сортировке отходов непосредственно на свалках, образуют вредные для экологии вещества из-за процессов гниения. Сейчас переработка пищевых отходов и применение переработанного сырья активно исследуются и разрабатываются. Компостирование пищевых отходов один из наиболее перспективных методов переработки.

Данная технология позволяет использовать твердые бытовые отходы и получать полноценные компосты, которые можно использовать как органическое удобрение, либо как основной компонент при приготовлении искусственных почв (Луканин, Васильева, 2018). Также исследуется потенциал микробных топливных элементов для переработки органических отходов, в частности от пищевой промышленности (Паршин, Люцко, 2023). Разрабатываются способы применения переработанных пищевых отходов. Например, изготовление из мясных отходов корма для животных и органического клея (Отамуродов, Саидов, 2023). Для дальнейшего использования в медицинской и косметической отраслях исследуется применение отходов растительного происхождения — кожура, семена, скорлупа, жмых, листья и другие компоненты, содержащие значительное количество в них биоактивных соединений (Кахетелидзе, Кикалишвили, Габелая, Явич, Мсхиладзе, 2023).

Актуальность экологической проблемы способствует изучению новых способов утилизации и переработки отходов.

ВЫВОДЫ

Предприятия общественного питания в процессе своего производства образуют пищевые и непищевые твердые коммунальные отходы. Количество организаций индустрии питания ежегодно растет, а следовательно, растет и количество получаемых отходов. Утилизация не сортируемых отходов на свалки, вредносно сказывается на окружающей среде и замедляет процесс решения проблем экологии, для реализации которого необходим комплексный подход, включая минимизацию и рациональную утилизацию всех видов отходов.

В настоящее время нельзя говорить о достаточной ликвидации отходов в процессе производства и полного перехода на экономику замкнутого цикла для предприятий индустрии питания, так как сейчас такие технологии находятся на стадиях разработки и апробации. Сокращение вреда окружающей среде посредством минимизации пищевых и непищевых отходов, а также качественной сортировки отходов и передачи на утилизацию и переработку без попадания их на полигоны способно снизить скорость роста количества свалок и их объема и, тем самым, ускорить и облегчить процесс перехода на экономику замкнутого цикла. Стоит отметить, что формирование культуры поведения граждан по отношению к сбору, сортировке и утилизации отходов также имеет принципиальное значение. Прививая теорию и практику осознанного потребления предприятия индустрии питания способны улучшить экологическую ситуацию. Полученные в исследовании знания будут содействовать достижению необходимых индикаторов актуальной повестки малоотходного или безотходного производства.

ВКЛАД АВТОРОВ

Люшнина А.А.: концептуализация, разработка методологии исследования, курирование данных, написание-подготовка черновика рукописи.

Суворов О.А.: научное руководство исследованием.

Токарева Т.Ю.: написание-рецензирование и редактирование рукописи.

ЛИТЕРАТУРА

- Абрамов, А., & Дрозд, М. Н. (2019). Полиэтиленовые пакеты как серьезная экологическая проблема в России. *Альманах мировой науки*, 36, 68–70.
- Аношина, А. В., Бирюкова, А. А., Фролов, А. В., & Седляров, О. И. (2022). Комплексная система высокоэффективной очистки выбросов загрязняющих веществ в атмосферу от технологического оборудования непосредственного сжигания твердых коммунальных отходов (ТКО). В *Инновационное развитие техники и технологий в промышленности (ИНТЕКС-2022)*. Том 4, (с. 101–105). Москва.
- Василенко, А. А., & Каретникова, В. Е. (2018). Инвентаризация как один из способов внутреннего контроля. В *Современные тенденции в науке*, (с. 15–18). Самара.
- Витковская, С. Е. (2012). *Твердые бытовые отходы: антропогенное звено биологического круговорота*. АФИ.
- Кахетелидзе, М. Б., Кикалишвили, Б. Ю., Габелая, М. А., Явич, П. А., & Мсхиладзе, Л. В. (2023). Потенциальная возможность применения отходов пищевых производств для получения средств медицинского и косметического применения. *Georgian Scientists*, 5(2), 150–163.
- Луканин, А. В., & Васильева, Т. (2018). Комплексное компостирование бытовых отходов городского хозяйства. *Журнал естественнонаучных исследований*, 3(3), 1–8.
- Луш, А. А., & Парамонова, А. Е. (2023). Анализ производства и переработки стекла и стеклянной упаковки. В *НИРС-79*.
- Материалы 79-й научно-практической конференции студентов*, (с. 416–419). Минск.
- Михеев, П. Н. (2023). Технологии искусственного интеллекта в пищевой промышленности. *Инновации и инвестиции*, (4), 536–539.
- Мяленко, Д. М. (2023). Современные биоразлагаемые материалы с ускоренной деградацией для молочной и пищевой продукции. *Пищевые системы*, 6(1), 11–21.
- Отмуродов, Ж. О., & Саидов, Ж. А. (2023). Перспективное использование отходов мясной промышленности. *Prospects of Development of Science and Education*, (9), 29–34.
- Пакулев, Д. Д., & Начарова, Е. И. (2020). Проблема пластика в современной экологии. В *Междисциплинарная интеграция как двигатель научного прогресса*, (с. 498–501). Новосибирск.
- Паршин, П. С., & Люцко, К. С. (2023). Микробные топливные элементы. В *Новые направления развития приборостроения*, (с. 152–153). Минск.
- Собакар, А. В. (2022). Влияние стекла на окружающую среду. В *Молодые ученые в аграрной науке*, (с. 190–191). Луганск.
- Стрельченко, Е. А. (2020). Классификация и перспективы внедрения одноразовой экомосуды для предприятий общественного питания. В *Научное пространство: актуальные вопросы теории и практики*, (с. 249–256). Чебоксары.

REFERENCES

- Abramov, A., & Drozd, M. N. (2019). Plastic bags as a serious environmental problem in Russia. *Al'manah mirovoj nauki*, 36, 68–70.
- Anoshina, A. V., Biryukova, A. A., Frolov, A. V., & Sedlyarov, O. I. (2022). An integrated system for highly efficient purification of pollutant emissions into the atmosphere from technological equipment for direct combustion of municipal solid waste (MSW). In *Innovacionnoe razvitie tekhniki i tekhnologij v promyshlennosti (INTEKS-2022)* [Innovative development of equipment and technologies in industry (INTEX-2022)]. Volume 4, (pp. 101–105). Moscow.
- Vasilenko, A. A., & Karetnikova, V. E. (2018). Inventory as one of the methods of internal control. In *Sovremennye tendencii v nauke* [Current trends in science], (pp. 15–18). Samara.
- Vitkovskaya, S. E. (2012). *Tverdye bytovye othody: antropogennoe zveno biologicheskogo krugovorota* [Municipal solid waste: an anthropogenic link in the biological cycle]. AFI.
- Kakhetelidze, M. B., Kikalishvili, B. Yu., Gabelaya, M. A., Yavich, P. A., & Mskhiladze, L. V. (2023). Potential possibility of using food waste to obtain products for medical and cosmetic use. *Georgian Scientists*, 5(2), 150–163.
- Lukanin, A. V., & Vasilyeva, T. (2018). Complex composting of municipal household waste. *Zhurnal estestvennonauchnyh issledovanij*, 3(3), 1–8.
- Lush, A. A., & Paramonova, A. E. (2023). Analysis of the production and processing of glass and glass packaging. In *NIRS-79. Materials of the 79th scientific and practical conference of students*, (p. 416–419). Minsk.
- Mikheev, P. N. (2023). Artificial intelligence technologies in the food industry. *Innovacii i investicii*, (4), 536–539.
- Myalenko, D. M. (2023). Modern biodegradable materials with accelerated degradation for dairy and food products. *Pishchevye sistemy*, 6(1), 11–21.

- Otamurodov, Zh. O., & Saidov, Zh. A. (2023). Promising use of meat industry waste. *Prospects of Development of Science and Education*, (9), 29–34.
- Pakulev, D. D., & Nacharova, E. I. (2020). The problem of plastic in modern ecology. In *Mezhdisciplinarnaya integraciya kak dvigatel' nauchnogo progressa* [Interdisciplinary integration as the engine of scientific progress], (pp. 498–501). Novosibirsk
- Parshin, P. S., & Lyutsko, K. S. (2023). Microbial fuel cells. In *Novye napravleniya razvitiya priborostroeniya* [New directions in the development of instrument engineering], (p. 152–153). Minsk.
- Sobakar, A. V. (2022). The impact of glass on the environment. In *Molodye uchenye v agrarnoj nauke* [Young scientists in agricultural science], (p.190–191). Lugansk.
- Strelchenko, E. A. (2020). Classification and prospects for the introduction of disposable eco-friendly tableware for catering establishments. In *Nauchnoe prostranstvo: aktual'nye voprosy teorii i praktiki* [Scientific space: current issues of theory and practice], (pp. 249–256). Cheboksary.

Использование криопорошка из календулы в технологии продуктов питания

Ю.Б. Гербер, Н. Ю. Ярошенко

Институт «Агротехнологическая академия» Крымский федеральный университет им. В. И. Вернадского, Республика Крым

Корреспонденция:

Ярошенко Наталья Юрьевна,
Институт «Агротехнологическая академия» Крымский федеральный университет им. В. И. Вернадского, 295492, Республика Крым, г. Симферополь, п. Аграрное, ул. Научная, 1 А
E-mail: ynatalyayaroshenko@yandex.ru

Конфликт интересов:

авторы сообщают об отсутствии конфликта интересов.

Поступила: 11.10.2023

Поступила после
рецензирования: 14.11.2023

Принята: 05.12.2023

Copyright: © 2023 Авторы

АННОТАЦИЯ

Введение. Среди основных задач государственной политики в отношении качества и безопасности пищевых продуктов является разработка стратегии по созданию новых научно обоснованных технологий экологически чистых пищевых продуктов, в том числе функционального назначения. Рыночные отношения требуют от производителей продуктов питания внедрения широкого ассортимента конкурентоспособной продукции с высокими потребительскими свойствами. Эти задачи можно решить путем использования пищевых добавок, способствующих улучшению органолептических свойств изделий, повышению их биологической ценности, увеличению сроков хранения. Также актуальной является разработка и внедрение ресурсосберегающих малоотходных и безотходных технологий комплексной переработки витаминсодержащего растительного сырья, получение из них криопорошков, снижение потерь витаминов и других биологически активных веществ, использование нетрадиционных источников биологически активных веществ — лечебного растительного сырья, создание витаминных продуктов направленного лечебно-профилактического действия, обогащенных натуральными витаминосодержателями и антиоксидантами.

Цель. Обосновать актуальность и доказать целесообразность применения криогенной технологии при производстве криопорошков, исследовать и провести обзор химического состава порошка из соцветий календулы, исследовать качественный состав полифенольных соединений криопорошков из соцветий календулы и подтвердить возможность применения в технологии продуктов питания.

Материалы и методы. На основе анализа данных обзора научной литературы по вопросу качества и безопасности пищевых продуктов, был рассмотрен и обоснован принцип криомеханической активации сырья, исследован физико-химический состав фитопорошков из соцветий календулы и доказана эффективность применения криопорошка в технологии продуктов питания. Исследование качественного состава полифенольных соединений криопорошков из соцветий календулы осуществляли методом спектроскопии в ультрафиолетовой и видимой областях спектра на "SPECORD M40", количественное определение полифенолов — на фотометре КФК-3 путем определения концентрации вещества с помощью измерения оптической плотности водо-спиртовой вытяжки. Содержание витаминов в порошках устанавливали по стандартным методикам, минеральным веществам — с помощью атомно-абсорбционного спектрофотометра HITACHI 180-80.

Результаты. Эффективным способом оптимизации структуры и индивидуализации питания населения является развитие производства продуктов функционального назначения путем использования в их составе ингредиентов — концентратов природных компонентов пищи — витаминов, макро- и микроэлементов, пищевых волокон, что позволяет снизить дефицит эссенциальных веществ, направленных изменять метаболизм, усиливать и ускорять выведение ксенобиотиков, повышать неспецифическую резистентность организма человека безопасным путем.

Выводы. Исследования антиоксидантной активности показали, что криопорошок из соцветий календулы обладает достаточно сильными антиоксидантными свойствами. Это позволяет рекомендовать использование криопорошка в производстве продуктов, содержащих жиры, для повышения их качества и продления сроков хранения.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА

криопорошок; соцветия календулы; криомеханическая активация сырья; каротиноиды; биологически активные вещества.

Для цитирования: Гербер, Ю. Б., & Ярошенко, Н. Ю. (2023). Использование криопорошка из календулы в технологии продуктов питания. *Health, Food & Biotechnology*, 5(3), 32–36. <https://doi.org/10.36107/hfb.2023.i3.s185>



<https://doi.org/10.36107/hfb.2023.i3.s185>

The Usage of Calendula Cryopowder in Food Technology

Yuriy B. Gerber, Nataliya Y. Yaroshenko

Agrotechnology Academy at V. I. Vernadsky
Crimean Federal University, the Republic
of Crimea

Correspondence:

Nataliya Y. Yaroshenko,
Agrotechnology Academy
at V. I. Vernadsky Crimean Federal
University, 1 A, Nauchnaya St, Agrarnoye,
Simferopol, 295492, the Republic of Crimea
E-mail: ynatalyayaroshenko@yandex.ru

Declaration of competing interest:
none declared.

Received: 11.10.2023

Received in revised form: 14.11. 2023

Accepted: 05.12.2023

Copyright: © 2023 The Authors

ABSTRACT

Introduction. Among the main tasks of the state policy regarding the quality and safety of food products is the development of a strategy for the creation of new scientifically based technologies for environmentally friendly food products, including functional purposes. Market relations make food manufacturers introduce a wide range of competitive products with high consumer properties. These tasks can be solved by using food additives that improve the organoleptic properties of products, increase their biological value and shelf life. It is also urgent to develop and implement resource-saving low-waste and non-waste technologies for complex processing of vitamin-containing plant raw materials, obtaining cryopowders from them, reducing the loss of vitamins and other biologically active substances, using non-traditional sources of biologically active substances – medicinal plant raw materials, creating vitamin products of targeted therapeutic and preventive action enriched with natural vitamin carriers and antioxidants.

Purpose. This article aims to substantiate the relevance and prove the feasibility of using cryogenic technology in the production of cryopowders, to investigate and review the chemical composition of the powder from calendula inflorescences, to investigate the qualitative composition of polyphenolic compounds of cryopowders from calendula inflorescences and to confirm the possibility of application in food technology

Materials and Methods. Based on the analysis of data from the review of scientific literature on the quality and safety of food products, the principle of cryomechanical activation of raw materials, the physico-chemical composition of phytopowders from calendula inflorescences was considered and justified, and the effectiveness of cryopowder application in food technology was proved. The study of the qualitative composition of polyphenolic compounds of cryopowders from calendula inflorescences was carried out by spectroscopy in the ultraviolet and visible regions of the spectrum on SPECORD M40, quantitative determination of polyphenols was carried out on a CFK-3 photometer by determining the concentration of the substance by measuring the optical density of a water-alcohol extract. The vitamin content in the powders was determined according to standard methods, mineral substances were determined using a HITACHI 180-80 atomic absorption spectrophotometer.

Results. An effective way to optimize the structure and individualization of the nutrition of the population is the development of the production of functional products by using ingredients in their composition – concentrates of natural food components – vitamins, macro – and microelements, dietary fibers, which reduces the deficiency of essential substances aimed at changing metabolism, enhance and accelerate the excretion of xenobiotics, increase the nonspecific resistance of the human body in a safe way.

Conclusions. Studies of antioxidant activity have shown that cryopowder from calendula inflorescences has sufficiently strong antioxidant properties. This allows us to recommend the use of cryopowder in the production of products containing fats to improve their quality and prolong shelf life.

KEYWORDS

cryopowder; calendula inflorescences; cryomechanical activation of raw materials; carotenoids; biologically active substances



To cite: Gerber, Yu. B., & Yaroshenko, N. Yu. (2023). The usage of calendula cryopowder in food technology. *Health, Food & Biotechnology*, 5(3), 32–36. <https://doi.org/10.36107/hfb.2023.i3.s185>

ВВЕДЕНИЕ

В современных условиях одной из составляющих устойчивого развития нашего государства является обеспечение экономической и продовольственной безопасности, определяемой физическим доступом населения к продовольственным ресурсам, гарантией высокого качества и безопасности пищевой продукции. Решение этой задачи состоит в разработке и внедрении ресурсосберегающих технологий, заключающихся в рациональном использовании сырьевых ресурсов, создании продукции с новыми потребительскими свойствами.

Развитие новых и совершенствование существующих технологий молочной продукции, интенсификация технологических процессов, обеспечение его качества и безопасности, основываются на фундаментальных знаниях науки и техники. Разнообразие пищевого сырья, готовой пищевой продукции и технологических процессов ее производства определяют необходимость рассмотрения пищевых систем как объектов технологии с учетом того, что между технологическими процессами существует много общего как по однотипности свойств систем, так и по характеру технологических воздействий (Юдина, 2008).

В связи с этим, в современных условиях жизнедеятельности человека необходимы качественно новые подходы к составлению рационов питания населения на основе пищевых продуктов функционального назначения с использованием натурального сырья повышенной питательной ценности.

Сейчас представлен недостаточно широкий ассортимент растительных добавок из плодово-ягодного и нетрадиционного сырья (пюре, пасты, концентрированные соки, порошки), которые могут использоваться в качестве окрашивающих веществ и для повышения биологической ценности молочных продуктов питания. Кроме того, большинство таких добавок предусматривает технологическую обработку сырья, в ходе которого теряются окрашивающие и полезные вещества: витамины, пищевые волокна, органические кислоты, гликозиды¹.

Приоритетным направлением получения растительных добавок является криогенное измельчение сырья, позволяющее сохранить биологически активные вещества, повысить качество конечного продукта и получить мелкодисперсные порошки с величиной частиц 10...30 мкм².

Растительные добавки, полученные по низкотемпературным технологиям, благодаря мелкодисперсному измельчению являются концентратом биологически активных веществ. Они содержат значительное количество низко- и высокомолекулярных фенольных соединений, пищевых волокон, витаминов, гликозидов, органических кислот, макро- и микроэлементов и обладают антиоксидантными и иммуномодулирующими свойствами, а также высокой окрашивающей способностью, хорошими вкусовыми и ароматическими характеристиками³.

Среди растительных порошков с высокой окрашивающей способностью выделяют мелкодисперсные, полученные по криогенной технологии, являются криопорошки из соцветий календулы (Рехвиашвили и соавт., 2014).

Вышеизложенное свидетельствует об актуальности изучения возможности использования растительных порошков с высоким содержанием натуральных окрашивающих веществ при производстве молочных продуктов питания для повышения его качества и биологической ценности, получения натурального цвета продуктов, а также исключения из рецептуры синтетических красителей.

Одним из приоритетных направлений науки и техники разработана технология получения натуральных красителей. Актуальность внедрения низкотемпературной технологии обусловлена необходимостью производства экологически чистых биологически активных добавок, способствующих повышению защитных сил организма человека.

Разработана отечественная технология получения мелкодисперсных пищевых добавок из растительного сырья под воздействием электромагнитной, солнечной энергии и криопомола в среде жидкого азота, позволяющая сохранять высокую пищевую и биологическую ценность продукта. усовершенствованная технология и линия для получения порошков из фруктового сырья позволяет избежать больших потерь исходного сырья, а также значительно увеличить сроки хранения готовой продукции.

Внедрение новой технологии позволит повысить эффективность технологических процессов, вывести на рынок продукты многофункционального назначения с высокой пищевой и биологической ценностью, длительным сроком хранения, расширить ассортимент

¹ Степычева, Н. В. (2013). *Научные основы производства продуктов питания: учебное пособие*. Ивановский государственный химико-технологический университет.

² Касьянов, Г. И. (2019). *Технологии пищевых производств. Сушка сырья: учебное пособие для вузов*. Издательство Юрайт.

³ Забодалова, Л. А. (2015). *Научные основы создания продуктов функционального назначения*. Университет ИТМО, ИХиБТ.

и улучшить обеспечение населения высококачественной молочной продукцией.

В основе этой технологии, лежит принцип криомеханической активации сырья, которая предусматривает замораживание при температуре — 270 °С без использования химических стабилизаторов, что позволяет сохранять структуру тканей свежего продукта. Проведение шоковой заморозки сырья способствует уменьшению отходов в 2...3 раза, при этом сокращается время замораживания в 3...10 раз по сравнению с традиционным. Добавки, полученные по низкотемпературной технологии, — это порошки с дисперсностью 10...30 мкм и влажностью 4...8 %, в составе которых хранится весь комплекс биологически активных веществ, имеющихся в исходном сырье⁴ (Брыксина, 2018).

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

На основе анализа данных обзора научной литературы по вопросу качества и безопасности пищевых продуктов, был рассмотрен и обоснован принцип криомеханической активации сырья, исследован физико-химический состав фитопорошков из соцветий календулы и доказана эффективность применения криопорошка в технологии продуктов питания.

Исследование качественного состава полифенольных соединений криопорошков из соцветий календулы осуществляли методом спектроскопии в ультрафиолетовой и видимой областях спектра на «SPECORD M40», количественное определение полифенолов — на фотометре КФК-3 путем определения концентрации вещества с помощью измерения оптической плотности водо-спиртовой вытяжки.

Содержание витаминов в порошках устанавливали по стандартным методикам, минеральным веществам — с помощью атомно-абсорбционного спектрофотометра HITACHI 180–80.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Благодаря своим свойствам криопорошки относятся к новому поколению пищевых веществ многофункционального назначения, отвечающих всем современным требованиям по гигиеническим и физико-химическим параметрам.

Известно, что растительное сырье является источником окрашивающих веществ (антоцианов, каротиноидов,

и других биологически активных компонентов: витаминов, низко- и высокомолекулярных фенольных соединений, гликозидов, ароматических веществ, органических кислот, макро- и микроэлементов. Криопорошки содержат значительное количество окрашивающих веществ, что позволяет использовать их как натуральные красители. Дозировка добавки зависит от желаемого цвета продукта с учетом особенностей рецептурных компонентов и технологий производства молочных продуктов.

Важнейшей особенностью криопорошка является высокое содержание биологически активных веществ, которые при криомеханической обработке сохраняют 95 % исходного состава полезных веществ.

В Таблице 1 приведен химический состав криопорошка из соцветий календулы

Таблица 1

Химический состав криопорошка из соцветий календулы (Кобраков, 2011)

Наименование веществ		Соцветия календулы
Биологически активные вещества	Флавоноиды	1,67÷1,95
	Каротиноиды, мг	150÷285
	Витамин С, мг	28,5÷30,5
Органические кислоты, мг/100 г		4,2÷4,8
Макроэлементы, мг/100 г	Калий, г	2980
	Магний, мкг	595
	Железо, мг	110
Микроэлементы, в 100 г	Фосфор, мг	210
	Марганец, мкг	6000
	Цинк, мкг	14
	Бор, мг	95

Исследования химического состава криопорошка каротиноидной и природы показали, что он содержит значительный процент биологически активных веществ.

Как видно из Таблицы 2 мелкодисперсный криопорошок из соцветий календулы характеризуется рекордным количеством природных каротиноидов — до 200 мг в 100 г, высоким содержанием фенольных соединений — 2,6...2,7 % и дубильных веществ — 3,1...3,3 %.

⁴ Матвеева, И. В., & Белявская, И. Г. (2001). *Пищевые добавки и хлебопекарные улучшители в производстве мучных изделий*. Издательский Дом Синергия.

Таблица 2

Химический состав мелкодисперсного криопорошка из соцветий календулы (Кащенко, 2013)

Показатель	Соцветия календулы
Содержание сухих веществ, %	94,0 ± 1,0
Размер частиц, мкм	10...30
Низкомолекулярные фенольные соединения (за рутином), мг/100 г	2600,0 ± 130,0
Дубильные вещества (по танину), мг/100 г	3130,0 ± 160,0

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Разработка и массовое применение новых технологий в продуктах питания с использованием криопорошка из календулы ускорит научно-технический прогресс, расширит ассортимент продукции, в том числе продукции для диетического и лечебно-профилактического питания.

ЛИТЕРАТУРА

Брыксина, К. В. (2018). Перспективы применения природных антиоксидантов в технологии продуктов для здорового питания. *Наука и образование*, 1(1), 54.

Кащенко, Н. И. (2013). Количественный анализ фенольных соединений календулы лекарственной методом микроколоночной ВЭЖХ. *Бутлеровские сообщения*, 36(12), 66–174.

Кобраков, К. И. (2011). Разработка методики количественного определения суммы флавоноидов в цветках календулы лекарственной. *Бутлеровские сообщения*, 28(19), 16–20.

REFERENCES

Bryksina, K. V. (2018). Prospects for the use of natural antioxidants in the technology of products for healthy nutrition. *Nauka i Obrazovanie*, 1(1), 54.

Kashchenko, N. I. (2013). Quantitative analysis of phenolic compounds of calendula officinalis by microcolumn HPLC. *Butlerovskie soobshcheniya*, 36(12), 66–174.

Kobrakov, K. I. (2011). Development of a technique for quantifying the amount of flavonoids in various calendula flowers. *Butlerovskie soobshcheniya*, 28(19), 16–20.

Таким образом, можно заключить, что криопорошок из соцветий календулы, полученный по криогенной технологии, содержит значительное количество биологически активных веществ, макро- и микроэлементов и, вместе с этим, имеет высокую окрашивающую способность, поэтому его целесообразно использовать в технологии пищевых продуктов для придания окраски и повышения биологической ценности готовых изделий.

ВКЛАД АВТОРОВ:

Гербер Ю.Б.: научное руководство исследованием, концептуализация, разработка методологии исследования, написание — рецензирование и редактирование рукописи.

Ярошенко Н. Ю.: проведение исследования, верификация данных, формальный анализ — применение статистических методов, визуализация, написание — подготовка черновика рукописи, подготовка и создание рукописи.

Рехвиашвили, Э. И., Гревцова, С. А., Кабулова, М. Ю., & Айлярова, М. К. (2014). Биотехнологические аспекты производства хлеба с добавлением порошка календулы лекарственной (calendula officinalis). *Аграрный вестник Урала*, (1 (119)), 63–65.

Юдина, С. Б. (2008). *Технология продуктов функционального питания*. ДеЛи принт.

Rekhviashvili, E. I., Grevtsova, S. A., Kabulova, M. Yu., & Ailyarova, M. K. (2014). Biotechnological aspects of bread production with the addition of calendula officinalis powder (calendula officinalis). *Agrarnyj vestnik Urala*, (1 (119)), 63–65.

Yudina, S. B. (2008). *Tekhnologiya produktov funkcional'nogo pitaniya* [Technology of functional food products]. DeLi print.

Исследование кинетики биологического разложения биопластика, полученного из крахмала тапиоки

К.Н. Корнилов, Н.Н. Роева

Российский биотехнологический университет (РОСБИОТЕХ), Москва, Россия

Корреспонденция:

Корнилов Кирилл Николаевич,
Российский биотехнологический университет (РОСБИОТЕХ),
125080, Россия, г. Москва,
Волоколамское шоссе, 11
E-mail: kornilovkn@mgupr.ru

Конфликт интересов:

авторы сообщают об отсутствии конфликта интересов.

Поступила: 31.08.2023

Поступила после
рецензирования: 27.10.2023

Принята: 01.11.2023

Copyright: © 2023 Авторы

АННОТАЦИЯ

Введение. Исследование биологически разлагаемых пластиков, полученных из возобновляемого сырья, является актуальной проблемой современной науки.

Цель. Целью представленной работы является исследование проблемы замены синтетических полимеров природными, а именно изучению степени биоразлагаемости пластика из возобновляемого крахмалсодержащего сырья в лабораторных и полевых условиях.

Материалы и методы. Биоразлагаемый пластик был исследован методом ИК-спектроскопии, что позволило провести приблизительную оценку его химического состава и предположить, что он является композитом, содержащим в составе полимолочную кислоту (PLA). Так же в ходе работы нами были исследованы физико-химические характеристики биоразлагаемого пластика (биопласта), производимого компанией Siam Modified Starches (Тайланд) из крахмала тапиоки. В частности, разрушающее напряжение (прочность на разрыв) и относительное удлинение при разрыве определены при помощи разрывной машины РМ-50. Сделаны выводы о возможности применения этого биопласта в качестве заменителей традиционных полимеров — полиэтилена и полипропилена.

Результаты. Проведено комплексное исследование биоразлагаемости изделий из представленных материалов. Установлено, что они полностью биodeградируют в условиях компостирования в течение 2 месяцев. Определена скорость биodeградации в лабораторном грунте.

Выводы. Таким образом, нами представлены данные о степени разложения природного биопластика в опытных и полевых условиях, в результате чего было сгенерировано кинетическое уравнение биоразложения исследуемого биопластика в природных средах. В представленной работе положено начало решению проблемы замены синтетических пластиков на природные и производству упаковки на основе крахмалсодержащего сырья. Выполнена видеофиксация степени деградации новых полимерных изделий в воде и при компостировании. Установлено, что в лабораторных условиях биопластик разлагается медленно, со скоростью 0,32–0,38 % в сутки. В полевых условиях полная биodeградация полимера происходит за 2 месяца.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА

ИК-спектр; полимолочная кислота; биodeградируемость; биополимеры; аэробное компостирование; константа скорости; крахмал; отходы; разрыв; растяжение



Для цитирования: Корнилов, К. Н., & Роева, Н. Н. (2023). Исследование кинетики биологического разложения биопластика, полученного из крахмала тапиоки. *Health, Food & Biotechnology*, 5(3), 37–50. <https://doi.org/10.36107/hfb.2023.i3.s175>

<https://doi.org/10.36107/hfb.2023.i3.s175>

Study on the Biodegradation Kinetics of Bioplastic Obtained from Tapioca Starch

Kirill N. Kornilov, Nataliya N. Roeva

Russian Biotechnological University
(BIOTECH University), Moscow, Russia

Correspondence:

Kirill N. Kornilov,
Russian Biotechnological University,
11, Volokolamskoe highway, Moscow,
125080, Russia
E-mail: kornilovkn@mgupp.ru

Declaration of competing interest:
none declared.

Received: 31.08.2023

Received in revised form: 27.10.2023

Accepted: 01.11.2023

Copyright: © 2023 The Authors

ABSTRACT

Introduction. The study of biodegradable plastics, obtained from renewable raw materials, is an urgent problem of modern science.

Purpose. The purpose of the article is to study the problem of replacing synthetic polymers with natural ones, namely to study in laboratory and field conditions the degree of biodegradability for plastic from renewable starch-containing raw materials.

Materials and methods. The biodegradable plastic was examined using infrared spectroscopy, which allowed a rough assessment of its chemical composition and suggested that it was a composite containing polylactic acid (PLA). Also, in the course of our work, we studied the physicochemical characteristics of biodegradable plastic (bioplast) produced by Siam Modified Starches (Thailand) from tapioca starch. In particular, the breaking stress (tensile strength) and elongation at break were determined using a RM-50 tensile testing machine. Conclusions have been drawn about the possibility of using this bioplastic as a substitute for traditional polymers – polyethylene and polypropylene.

Results. A comprehensive study of the biodegradability of products, made from the presented materials, was carried out. It has been established that they completely biodegrade under composting conditions within 2 months. The rate of biodegradation in laboratory soil was determined.

Conclusions. Thus, we presented data on the degree of decomposition for natural bioplastic under experimental and field conditions. This investigation resulted in the generation of a kinetic equation for the biodegradation of the studied bioplastic in natural environments. The presented work marks the beginning of solving the problem of replacing synthetic plastics with natural ones and producing packaging based on starch-containing raw materials. Video recording of the degradation degree for new polymer products in water and during composting was made. It has been established that in laboratory conditions bioplastic decomposes slowly, at a rate of 0.32–0.38 % per day. Under field conditions, complete biodegradation of the polymer occurs within 2 months.

KEYWORDS

IR spectrum; polylactic acid; biodegradability; biopolymers; aerobic composting; rate constant; starch; waste; gap; stretching



To cite: Kornilov, K. N., & Roeva, N. N. (2023). Study on the Biodegradation Kinetics of Bioplastic Obtained from Tapioca Starch. *Health, Food & Biotechnology*, 5(3), 37–50. <https://doi.org/10.36107/hfb.2023.i3.s175>

ВВЕДЕНИЕ

На кафедре Химии и экотоксикологии Российского биотехнологического университета в настоящее время проводятся крупномасштабные исследования микро- и нано частиц пластика в пищевых продуктах и объектах окружающей среды (Корнилов & Роева, 2019). Такие частицы были обнаружены нами в воде, растительных маслах (Корнилов & Роева, 2020), газированных напитках, в хлебе, и даже было установлено, что большое количество этих частиц выделяется при заваривании пирамидальных чайных пакетиков (Корнилов & Роева, 2021).

Актуальность рассматриваемой проблемы обусловлена тем, что в настоящее время всё мировое научное сообщество встревожено сообщениями о появлении микро- и наночастиц синтетического пластика в пищевых продуктах и объектах окружающей среды (Al-Jaibachi, Cuthbert, & Callaghan, 2018; Sighicelli et al., 2018). Обсуждаются перспективы замены полимерных пластиков из полиэтилена, полипропилена и полиэтилентерефталата, на биопластик из крахмала. Именно поэтому возникла необходимость исследования биоразлагаемых полимеров марки Tapioplast TPS и Tapioplast C, изготовленных из крахмала тапиоки, а также изделий на их основе. Особенно важным и до нас не изученным вопросом является кинетика биоразложения упаковок из нового вида пластика, т.к. именно кинетические закономерности, а именно скорость данного процесса — является ключевой характеристикой при замене традиционных, медленно разлагающихся, полимеров (Moreno, Rodrigues, Afonso, & Jimenes, 2023).

Очевидно, что пластик как загрязнитель уже добрался до пищевых продуктов и до стола человека (Mason, Welch, & Neratko, 2018). В связи с этим замена традиционных полимеров: полиэтилена (ПЭ), полипропилена (ПП) и полиэтилентерефталата (ПЭТФ) на биоразлагаемые в настоящее время является одной из самых главных задач, стоящих перед научным сообществом (Luo et al., 2020; Luo et al., 2023).

В связи с этим к настоящему моменту нами уже был синтезирован ряд полимеров — полиамфолитов, потенциально способных поглощать микро и нано пластик из окружающей среды и очищать её. Например, синтезирован перспективный, легко синтезируемый и коммерчески доступный полимер на основе мочевины, формальдегида и глицина (Эрмуратова и др., 2022) и на основе орто-аминобензойной кислоты и эпоксидной смолы, содержащей фрагменты Бисфенола А, что делает его хорошим адсорбентом для пластиков, тоже содержащих Бисфенол А (Умирова и др., 2023).

Тем не менее важна не только очистка окружающей среды от накопившегося микро и нано пластика, но и прекращение попадания в неё нового. В связи с этим важным вопросом для всего научного сообщества в настоящее время является исследование биологически разлагаемых видов пластика, а особенно — их способности к разложению в природных условиях.

К сожалению, в русскоязычной литературе последних 5 лет не достаточно много работ на исследование биоразлагающихся пластиков, полностью полученных из возобновляемого сырья. Тогда как во всём мире эту проблему считают одной из самых актуальных, и ей уже посвящено несколько подробных обзоров (Ahsan et al., 2023; Luo et al., 2023). Существующие работы на русском языке в основном исследуют композиции на основе традиционных полимеров (полиэтилена и полипропилена) с добавкой биоразлагаемой части и наполнителей (Рогозина, 2016; Кирш, 2020). В связи с этим наша работа отчасти заполняет образовавшийся пробел по исследованию биопластов, состоящих только из возобновляемого сырья.

Для исследования биоразлагаемости пластика на основе крахмала тапиоки компания Siam Modified Starches (SMS, Тайланд) предоставила два биоразлагаемых полимера (биопласта), которые были разработаны ими ранее и в настоящее время широко применяются в производстве. Такие биопласты по информации, предоставленной компанией SMS, разлагаются в природной среде в течение двух месяцев, а значит могут заменить традиционные, не разлагаемые пластики (Роговина, 2016; Astner, Gillmore, Yingxue, & Flury, 2023).

В настоящее время считается, что биоразлагаемые пластмассы — это такие пластмассы, которые под действием живых организмов, обычно микробов, могут разлагаться на воду, углекислый газ и биомассу (Ammala, 2011). Биоразлагаемые пластмассы обычно производятся из возобновляемого сырья, микроорганизмов, продуктов нефтехимического производства или в результате комбинации всех трех источников (Nelms et al., 2018). Хотя слова «биопластик» и «биоразлагаемый пластик» похожи, они не являются синонимами. Не все биопластики (пластмассы, частично или полностью полученные из биомассы) являются биоразлагаемыми (Бабунова и др., 2018).

Биоразлагаемые пластмассы обычно используются для изготовления одноразовых предметов, таких как упаковка, посуда, столовые приборы и контейнеры для общественного питания (Chen & Patel, 2012).

В принципе, биоразлагаемые пластмассы могут заменить обычных пластмассы во многих областях их применения (Фомин, 2001). Однако это влечет за со-

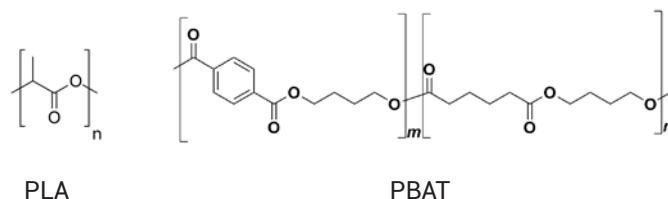
бой ряд проблем. Многие биоразлагаемые пластмассы предназначены для разложения в промышленных системах компостирования. Однако для этого требуется хорошо управляемая организация удаления отходов, чтобы это действительно происходило. Если продукты, изготовленные из биоразлагаемых пластиков, выбрасываются в обычные потоки мусора, такие как свалки, или попадают в открытую среду — реки и океаны, то потенциальные экологические выгоды не реализуются, и все имеющиеся данные свидетельствуют о том, что это может фактически ухудшить, а не уменьшить, проблему пластикового загрязнения¹ (Jayakala Devi & Usha, 2023).

Пластиковые предметы, помеченные как «биоразлагаемые», но которые распадаются только на более мелкие части, такие как микропластик, или на более мелкие части, которые не являются биоразлагаемыми, не являются улучшением по сравнению с обычным пластиком (Zhuzhi et al., 2022).

В частности, ещё исследование 2009 года показало, что использование биоразлагаемых пластиков является финансово целесообразным только в контексте конкретных правил, ограничивающих использование обычных пластмасс (Andrady & Neal, 2009). Например, биоразлагаемые пластиковые пакеты стали обязательными в Италии с 2011 года, когда для этого был принят специальный закон.

В настоящее время наиболее широко используются два вида биоразлагаемых пластиков (Astner, Gillmore, Yingxue, & Flury, 2023): полимолочная кислота (Polylactic

acid (PLA)) и Полибутилен адипинат терефталат (Polybutylene adipate terephthalate (PBAT)):



Однако именно на биопластики, созданные на основе крахмала, в настоящее время направлено самое пристальное внимание всего научного сообщества.

Таким образом, целью нашего исследования являлось точное установление времени биodeградации пластика на основе крахмала тапиоки, определение скорости этого процесса и построение для него кинетического уравнения, т.е. зависимости степени биodeградации от времени.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Материалы исследования

Компания Siam Modified Starches (Тайланд) к настоящему времени разработала два вида биоразлагаемых пластиков на основе крахмала из тапиоки: Tapioplast TPS (применяется для изготовления пакетов) и Tapioplast C (применяется для изготовления трубочек). Эта компания давно занимается модификацией крахмалов, о чём мы ранее уже писали в работе (Корнилов, Роева & Воронич 2020), где проводилось исследование таких

Рисунок 1

Биоразлагаемые пластики от компании SMS



¹ Клинков, А. С., Беляев, П. С., Однолько, В. Г., Соколов, М. В., Макеев, П. В., & Шашков, И. В. (2015). Утилизация и переработка твёрдых бытовых отходов: учебное пособие. Изд-во ФГБОУ ВПО «ТГТУ».

крахмалов методом Лазерного Динамического Светорассеивания.

Преимущества и способы использования Тапиопластов представлены самой компанией и приведены на Рисунке 1.

Из Рисунка 1 видно, что Тапиопласты производятся именно из крахмала тапиоки, т.е. созданы на основе возобновляемого, экологически чистого ресурса. На их основе можно получать предметы из одноразового пластика, например, пакеты (Рисунок 2), которые далее полностью разлагаются в земле и мало того, могут быть использованы как удобрения:

Рисунок 2

Маркировка на пакете из биоразлагаемого пластика



Процедура исследования

В начале работы с целью исследования наличия в полимере характеристических групп атомов и получения общего представления о составе биопластика, нами получен его ИК-спектр. При этом ИК-спектроскопические исследования проводились на инфракрасном ИК-Фурье спектрометре Spectrum 100 (Perkin Elmers) (диапазон $450\text{--}4000\text{ см}^{-1}$, разрешение 4 см^{-1}), оснащенного приставкой нарушенного полного внутреннего отражения и работающей с использованием программного обеспечения Spectrum One, методом помещения между двумя

пластинками из KBr. Спектрограммы были получены как среднее из трех измерений дублированных образцов после нормализации.

Далее нами были проанализированы физико-химические характеристики Тапиопластов, такие как плотность, содержание влаги, разрушающее напряжение и относительное удлинение при разрыве. Насыпная плотность, размер гранул, содержание влаги и толщина плёнки предоставлены производителем.

Определение физико-механических свойств полимеров и композиций, а именно разрушающего напряжения (прочности на разрыв) и относительного удлинения при разрыве проводилось в соответствии с ГОСТ 14236–81 «Пленки полимерные. Методы испытания на растяжение». Испытания проводили на разрывной машине РМ-50, оснащенной компьютерным интерфейсом. Предел допускаемого значения погрешности измерения нагрузки при прямом ходе не превышал $\pm 1\%$ измеряемой нагрузки. Скорость деформации образца – 100 мм/мин . Результаты представлены в Таблице 1. В виде предварительных результатов они были частично опубликованы нами ранее в сборнике докладов студенческой научной конференции (Корнилов & Алкилани, 2021)².

Исследование биоразлагаемости изделий из Тапиопласта TPS потребовало от нас значительного времени и осуществлялось в течение более чем двух месяцев. Биоразлагаемость была изучена для готовых изделий (пакетов и коктейльных трубочек) из Тапиопласта TPS в соответствии с ГОСТ Р 57225–2016 «Пластмассы. Определение степени разложения пластмасс в имитированных условиях компостирования при лабораторных испытаниях». Согласно этому методу, экспонирование исследуемого образца в лабораторном грунте осуществляется в течение 6 месяцев при 23 °C , влажности в 80% с шагом замеров физико-химических параметров в 2 недели.

Интересными работами, где рассмотрены вопросы биоповреждений различных полимерных материалов, и которые можно использовать в практической части нашего исследования, являются статьи (Пехташова и др., 2012, с. 163–166) и (Пехташова и др., 2012, с. 167–172). Здесь исследуется воздействие бактерий на полимеры и обсуждаются возможные пути разрушения полимером микроорганизмами.

Очень подробно современное состояние компостирования пластиков рассмотрено в недавно опубликованной работе (Ahsan, et al., 2023), которая подтверждает акту-

² Необходимо отметить, что изучение химического состава полимера не являлось основной целью нашего исследования. Указанный состав является коммерческой тайной компании Siam Modified Starches и раскрывать его без разрешения авторов мы не имеем права.

альность изучаемой нами темы и правильность выбранных методов исследования.

В работе (Кирш и др., 2020), написанной ранее в нашем Университете, физико-химическим параметром биоразлагаемости являлось изменение относительного удлинения при разрыве полимера до и после компостирования. Авторы полагали, что при деградации пластика ухудшаются его механические свойства и падает относительное удлинение. Мы же за параметр биоразлагаемости решили принимать не только изменение относительного удлинения, но и изменение массы готового изделия. Этот параметр мы считали более объективным и понятным. Естественно, что распад полимера должен идти с уменьшением его массы. Поэтому именно изменение массы характеризует процессы, происходящие с полимерами, как мы предполагали, наиболее наглядно.

Однако дальнейшие эксперименты показали, что по изменению массы биоразлагающегося полимера совершенно не возможно судить о кинетике и механизме протекания процесса.

Указанный ГОСТ Р 57225–2016 почти полностью соответствует Международному стандарту испытаний DIN 54900 «Проверка полимеров на способность к компостированию» (Leja & Lewandowicz, 2010). Согласно этому стандарту, биоразлагаемым считается полимер, разложившийся на 60 % в течение 6 месяцев в биокомпосте при условиях проветривания и перелопачивания в присутствии других пищевых отходов (Gumargalieva & Zaikov, 1998; Semenov, Gumargalieva & Zaikov, 2003).

Кроме изменения массы изделий мы в качестве критерия биодеструкции полимерного материала использовали также показатель изменение физико-механических свойств полимерных композиций (ГОСТ 14236) до и после компостирования. Расчет проводили по формуле:

$$\Delta E_p = [(\Delta E_{p1} - \Delta E_{p2}) / \Delta E_{p1}] \cdot 100 \%,$$

где ΔE_p — показатель изменения относительного удлинения при разрыве в процессе компостирования, %;

ΔE_{p1} — показатель относительного удлинения при разрыве до компостирования, %: в Таблице 1 он указан равным 250 %;

ΔE_{p2} — показатель относительного удлинения при разрыве после компостирования, %.

Именно ухудшение механической прочности при биодегradации чаще всего используют для определения скорости и самого факта протекания этого процесса. В ходе биодегradации оцениваются такие свойства полимеров как деформация при растяжении, предел прочности при растяжении, относительное удлинение и модуль упругости при растяжении (Jayasekara et al., 2003).

Используя эти стандарты, мы провели испытания биоразлагаемости 4-мя независимыми методами:

- (1) компостирование в лабораторном грунте;
- (2) разложение в водной среде;
- (3) разложение путем выдерживания на открытой поверхности в природных условиях;
- (4) компостирование в полевых условиях в присутствии пищевых отходов.

Извлечение исследуемого материала из экспериментальной среды проводилось нами для первых трех методик один раз в неделю, а для методики 4 — массу определить было технически и физически не возможно, т.к. пакет содержал в себе органические продукты гниения. Важным критерием при биоразложении был так же внешний вид пакетов. Исходная масса пластиковых пакетов составляла 45,86 г, коктейльной трубочки — 1,24 г. Каждый раз определялось изменение массы по сравнению с первоначальной.

Полимер, экспонированный в лабораторном грунте, перед взвешиванием отмывался от грязи. Кроме того, перед контрольным взвешиванием все полимеры высушивались на открытом воздухе в течение 30 минут. В качестве лабораторного грунта использована земля с газона массой 10 кг, предварительно очищенная от камней и остатков растений.

Обработку результатов эксперимента проводили с использованием программного обеспечения Microsoft Office, STATISTICA 6. Методы определения физико-механических свойств полимеров снабжены компьютерным интерфейсом и программами, основанными на методах статистического и сравнительного анализа.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

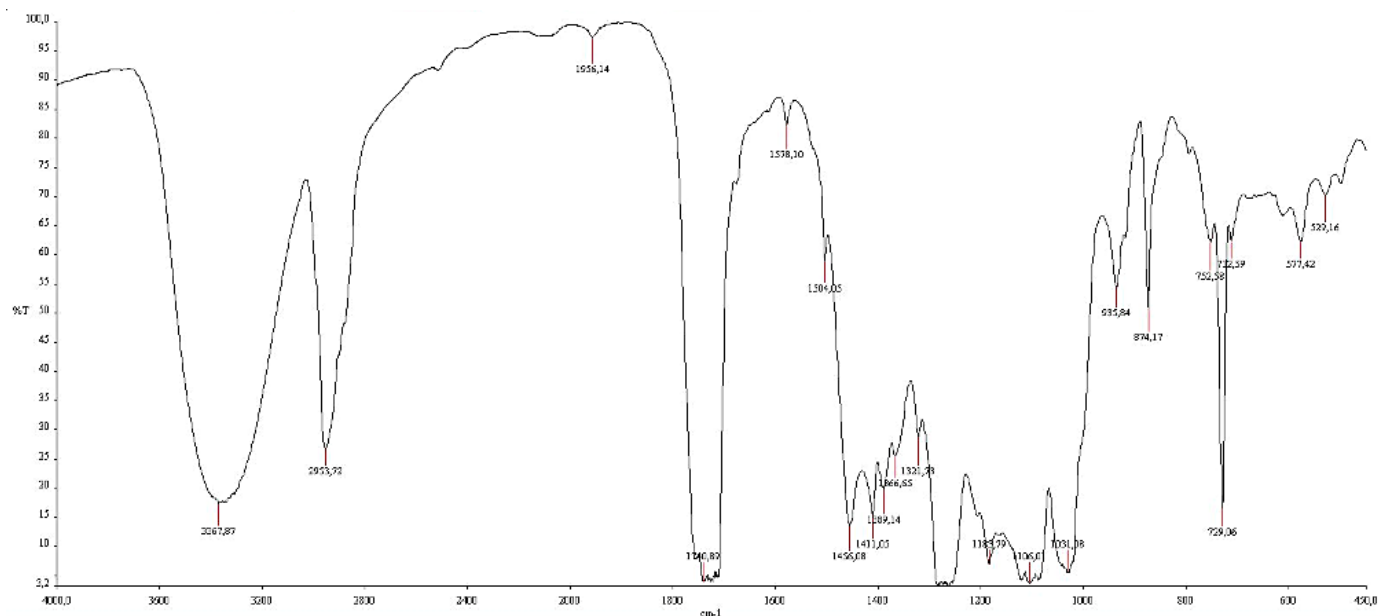
ИК-спектр исследуемого полимера выглядит следующим образом (Рисунок 3).

При исследовании ИК-спектра было зарегистрировано несколько основных пиков, волновые числа которых с расшифровкой по функциональным группам могут быть интерпретированы следующим образом (Vascanegra et al., 2022):

- 1) уширенная полоса поглощения с центром в 3368 см^{-1} — это область поглощения, характерная для ОН-групп, связанных водородными связями; такие связи вполне характерны для крахмала, сформировавшего вторичную спиралевидную структуру;
- 2) 2954 см^{-1} — С—Н связи (как в алканах),
- 3) мощная полоса поглощения с центром в 1741 см^{-1} — валентные колебания С=О-группы,
- 4) 1456 см^{-1} — С—С связь бензольного кольца,

Рисунок 3

ИК-спектр биоразлагаемого полимера Tapioplast TPS на основе крахмала тапиоки



- 5) $1256\text{--}1285\text{ см}^{-1}$ — уширенная полоса поглощения, которая может свидетельствовать о наличии нескольких сигналов колебаний C—O связи при карбонильной группе,
- 6) в области 1031 см^{-1} — полоса поглощения, характерная для колебаний C—O связи простых эфиров или спиртов.

Полученные данные не позволяют достоверно раскрыть точную химическую структуру полимера. Однако очевидно, что перед нами, действительно, каким-то образом модифицированный крахмал тапиоки, в котором, возможно, в качестве наполнителя присутствует полимолочная кислота (PLA), являющаяся источником карбонильной группы на ИК-спектре. В связи с этим в качестве образца сравнения для дальнейших исследований целесообразно использовать плёнку из полимолочной кислоты.

Для определения физико-химических характеристик плёнки, полученной из биопластов методом выдувной экструзии, мы использовали образцы одноразовых пакетов, представленных компанией SMS. В качестве объектов сравнения применялись обычный полиэтиленовый пакет и биоразлагаемую плёнку из полимолочной кислоты, так же предоставленную компанией SMS.

Размер гранул, насыпная плотность и содержание влаги для полиэтилена и PLA нами не определялась, т.к. в данном случае мы работали уже с готовыми плёнками (или пакетом). Результаты исследования образцов представлены в Таблице 1:

Как видно из представленной таблицы, оба вида исследованных биоразлагаемых полимеров обладают характеристиками, которые делают их вполне пригодными для производства одноразовых изделий и для замены

Таблица 1

Исходные физико-химические характеристики полимеров на основе модифицированного крахмала тапиоки

	Размер гранул, мм	Насыпная плотность, г/см ³	Содержание влаги, %	Толщина плёнки, мкм	Разрушающее напряжение, МПа	Относительное удлинение при разрыве, %
Tapioplast TPS	5	$0,800 \pm 0,020$	$4,0 \pm 0,2$	35 ± 2	$15,0 \pm 0,5$	250 ± 12
Tapioplast C	5	$0,720 \pm 0,020$	$1,0 \pm 0,2$	30 ± 2	$12,0 \pm 0,4$	180 ± 11
Полиэтилен (PE)	—	—	—	30 ± 2	$24,0 \pm 0,5$	397 ± 12
Полимолочная кислота	—	—	—	50 ± 2	$15,0 \pm 0,5$	293 ± 10

полиэтилена, что уже отмечено нам ранее в работе (Корнилов & Алкилани, 2021).

Перейдём к анализу результатов, полученных при компостировании исследованных образцов. В данном случае в качестве образца для сравнения так же использовалась плёнка из биоразлагаемой полимолочной кислоты (массой 20 г). Компостирование её осуществлялось только в лабораторном грунте.

Представленные изменения массы являются средним результатом трёх измерений. Погрешность значений не более 5 %.

В Таблице 3 представлены результаты изменения относительного удлинения полимера при разложении (ΔE_r — показатель изменения относительного удлинения при разрыве в процессе компостирования, %).

При сравнении Таблиц 2 и 3 видно, что масса полимера с течением времени возрастает в течение 1,5 месяца, а потом начинает постепенно падать. Это может быть связано с тем, что сначала полимер поглощает влагу из окружающей среды (набухает), а потом начинает распадаться (растворяться) и поглощение влаги компенсируется потерей собственной массы. Механическая прочность полимера при этом стабильно и неизменно падает.

Медленнее всего полимер изменяет массу и механическую прочность при выдерживании на открытом воздухе, так как обязательным условием его биоразложения (согласно информации от производителя) является компостирование в грунте с другими органическими отходами. Одновременно с этим для наглядности нами была проведена видеофиксация постепенной деградации полимерных изделий в воде и при компостировании,

Таблица 2
Относительное изменение массы изделий из полимеров в разных средах по сравнению с первоначальной, %
а) пластиковый пакет (Tapioplast TPS), $m_0 = 45,86$ г

	3 дня	7 дней	14 дней	31 день	53 дня	63 дня	73 дня
в лабораторном грунте	+ 0	+18,46	+21,53	+28,89	+29,33	+26,41	+25,09
PLA в лабораторном грунте	+0,11	+ 0,32	+0,88	+1,72	+2,03	+4,91	+5,22
в воде	+8,85	+10,77	+18,04	+21,79	+22,95	+20,65	+19,62
на открытом воздухе	-4,86	+3,28	+3,39	+4,77	+6,71	+8,12	+8,10

б) коктейльная трубочка (Tapioplast C), $m_0 = 1,24$ г

	3 дня	7 дней	14 дней	31 день	53 дня	63 дня
в лабораторном грунте	0	+0,11	+0,12	+0,34	+0,42	+0,51
в воде	0	+0,09	+0,20	+0,45	+0,54	+0,49

Таблица 3
Изменение относительного удлинения при разрыве (ΔE_r , %) для пластикового пакета в разных средах по сравнению с первоначальной:

Время компостирования, т	3 дня	7 дней	14 дней	31 день	53 дня	63 дня	73 дня
в лабораторном грунте	1,0	3,5	4,8	10,0	19,1	23,4	27,5
PLA в лабораторном грунте	0,2	0,8	3,2	5,0	6,2	8,4	12,3
в воде	1,2	4,2	5,1	8,0	14,0	15,6	19,0
на открытом воздухе	0	0,5	3,2	4,1	8,2	8,9	9,1

Примечание: погрешность значений не более 5 %.

Рисунок 4

Изменение массы полимера в пластиковых пакетах при биodeградации в лабораторном грунте в зависимости от времени

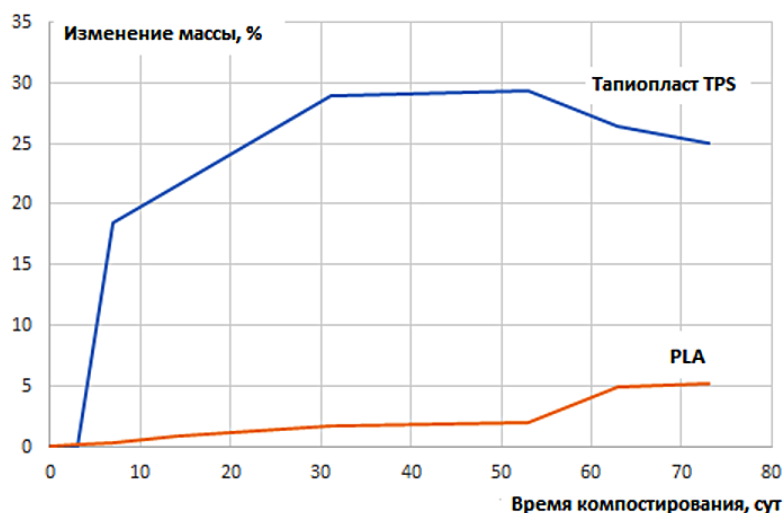
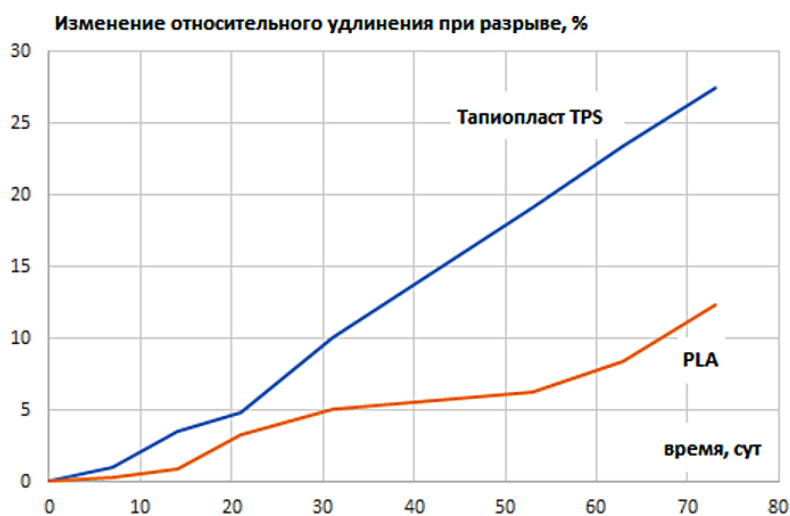


Рисунок 5

Изменение относительного удлинения при разрыве (%) для пластиковых пакетов при биodeградации в лабораторном грунте в зависимости от времени



так как нам было важно понимать, как изменялся внешний вид и потребительские свойства изделий³.

Т.к. компостирование пакета в лабораторном грунте наиболее соответствует ГОСТу 57225, то именно для этого случая нами с целью наглядной демонстрации результатов были построены графики зависимости из-

менения массы от времени и механической прочности (относительного удлинения при разрыве) от времени (Рисунки 4 и 5):

Не трудно заметить, что согласно Таблице 2 и Рисункам 4 и 5, видимая биодеструкция в лабораторном грунте начинается не ранее, чем через 7 суток, но потом

³ <https://youtu.be/Otk6Ju1PtZw>: подготовка к испытаниям, <https://youtu.be/FF590if4MLA> — вот как производитель рекомендует утилизировать свой биопластик, <https://youtu.be/UjCgJF8rcV8> — начало лабораторных испытаний, https://youtu.be/rs_05Js1NWk — начало испытаний в полевых условиях, <https://youtu.be/X9fXvHvIYT1> — извлечение из воды и грунта через 7 дней, <https://youtu.be/N1IU4bxTOEg> — вид полимеров через 7 дней, <https://youtu.be/JI-wA5qp268> — результаты лабораторных испытаний через 14 дней, <https://youtu.be/Wcfj9Gyq9VU> — результаты полевых испытаний через 14 дней, <https://youtu.be/e4EN5XcXWC8> — результаты лабораторных испытаний через 31 день, <https://youtu.be/tkJ5fKqug4w> — результаты полевых испытаний через 31 день.

продолжается непрерывно и неизменно. Если считать, что скорость биоразложения прямо пропорциональна скорости уменьшения механической прочности, то эту скорость можно определить как изменение относительного удлинения при разрыве из Таблицы 3, деленное на полное время, за которое это изменение произошло:

$$v = \Delta E_p / \tau.$$

Получим величину, выраженную в процентах в сутки (Таблица 4):

Из Таблицы 4 отчётливо видно, что начиная с 2 недель компостирования скорость уменьшения механической прочности, а значит, и скорость биоразложения, стабилизируется и становится равно 0,32–0,38 % в сутки.

Интересный результат был получен нами через 2 месяца испытаний. В лабораторном грунте полимер в это время начал терять массу, а механическая прочность его уменьшилась на 23 %. То есть процесс биодеградации происходил, но медленно. Одновременно с этим за те же самые 2 месяца в полевых условиях весь полимерный пакет превратился в труху — мелкие фрагменты вещества с коричневым оттенком. Большая его часть полностью сгнила и растворилась.

Отличие полевых условий от лабораторных заключалось в том, что в полевых внутри пакета находились пищевые отходы, в ходе биодеградации он подвергался воздействию бактерий, дождей, т.е. гнил вместе с органическими остатками внутри. В связи с полной биодеградацией полимера в полевых условиях, что и соответствует рекомендациям производителя, на этом эксперимент был нами закончен.

Таким образом, мы установили, что скорость биодеградации в лабораторном грунте, начиная с 2 недель эксперимента, становится постоянной. То есть ход реакции подчиняется кинетическому уравнению нулевого порядка:

$$v = k,$$

$$C = C_0 - kt,$$

где v — скорость биоразложения в %/сут, C — механическая прочность в % от первоначальной, $C_0 = 100$ %, k — константа скорости биоразложения в %/сут, и t — время биоразложения в сутках.

k средне арифметическая = 0,35 %/сут. Таким образом, итоговое кинетическое уравнение биоразложения может быть предложено в виде:

$$C = 100 - 0,35 \cdot t.$$

Период полуразложения для реакций нулевого порядка равен $t_{0,5} = C_0 / 2k$. И в нашем случае $t_{0,5} = 143$ сут.

При этом ещё раз заметим, что в полевых условиях, в присутствии гниющих органических отходов, почвенных бактерий, насекомых и дождей полная биодеструкция наступает гораздо быстрее — уже за 60 суток.

Интересно отметить, что смесь крахмала с полиэтиленом подвергается биодеструкции при компостировании согласно кинетическому уравнению первого порядка (Leejarkpai et al., 2011). Это было установлено по динамике выделения углекислого газа из компоста, т.е. превращения твердого углерода в CO_2 . Таким образом, можно сделать вывод, что кинетика биоразложения определяется тем параметром, который исследуется при биоразложении. В случае превращения C в CO_2 мы видим механизм первого порядка, а в случае ухудшения механических свойств — механизм нулевого порядка.

Ранее в литературе уже были описаны возможные механизмы биодеградации крахмала в почве (Tang & Alavi, 2011). Микроорганизмы могут напрямую воздействовать на молекулы крахмала и целлюлозы, т.к. способны вырабатывать ферменты для деполимеризации и расщепления полимера. Это приводит к снижению молекулярной массы в присутствии микробных клеток (Vroman & Tighzert, 2009). Например, минерализация кукурузного крахмала при 58 °C занимала 44 дня в аэробных условиях (Degli-Innocenti, Tosin, & Bastioli, 1998). Было установлено, что диапазон pH 7,0–8,0 и влажность 50 % способствуют биодеградации пленок крахмала в органическом компосте, полученном из различных культур. На первой стадии разложения, в основном вызванной выщелачиванием пластификатора, в течение 24 часов было потеряно около 30 % веса. На втором этапе, главным образом из-за биологической активности и разрыва гликозидных связей, вес медленно снижался до 90 % от первоначального веса примерно за 20 дней (Torres et al., 2011). Интересно, что в нескольких статьях сообщалось о разложении смесей на основе крахмала во время компостирования (23–25 °C) и было обнаружено, что в аэроб-

Таблица 4

Скорость уменьшения механической прочности биоразлагаемого пластика на основе крахмала тапиоки в пластиковых пакетах при компостировании в лабораторном грунте

	3 дня	7 дней	14 дней	31 день	53 дня	63 дня	73 дня
% в сутки	0,33 ± 0,01	0,50 ± 0,02	0,34 ± 0,02	0,32 ± 0,01	0,36 ± 0,01	0,37 ± 0,01	0,38 ± 0,01

ных условиях температура также играет ключевую роль в разложении биопластика (Accinelli et al., 2012). В другой работе сообщается о разложении биопластика на основе крахмала в условиях непромышленного компостирования примерно после 9 недель компостирования (Czaja-Jagielska & Melski, 2013).

Таким образом, результаты, полученные ранее другими исследователями, вполне сходятся в нашими. Кроме того, мы видим, что ранее изучена биodeградация совершенно других видов крахмала, но не биопластика на основе тапиоки. Представленная работа является серьёзным дополнением к общемировым результатам по исследованию биоразлагаемых материалов.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Методом ИК-спектроскопии исследована плёнка из биоразлагаемого пластика, полученного на основе крахмала тапиоки. Определено наличие некоторых характеристических групп атомов в исследуемом полимере. Высказано предположение о наличии в композите полимолочной кислоты.
2. Исследованы физико-механические характеристики изделий на основе биоразлагаемых полимеров: разрушающее напряжение и относительное удлинение.
3. Сделан вывод о возможности применения данных биополимеров для замены полиэтилена в одноразовых изделиях.
4. Исследована биоразлагаемость готовых изделий из нового вида пластика. Установлено, что в лабора-

торных условиях при компостировании биопластик разлагается медленно, со скоростью 0,32–0,38 % в сутки. В полевых условиях полная биodeградация полимера происходит за 2 месяца.

5. Проведено сравнение скорости биоразложения полимолочной кислоты и пластика на основе крахмала тапиоки.
6. Предложено кинетическое уравнение биоразложения исследуемого биопластика.
7. Установлено, что биоразложение является процессом, подчиняющимся кинетическому уравнению нулевого порядка, в том случае, если в качестве критерия биоразложения использовать показатель изменения относительного удлинения при разрыве в процессе компостирования.

ВКЛАД АВТОРОВ

Корнилов К.Н.: концептуализация, разработка методологии исследования, работа с программным обеспечением; курирование данных, написание — подготовка черновика рукописи; визуализация, проведение исследования; программное обеспечение, валидация данных; написание-рецензирование и редактирование рукописи; применение статистических, математических или других формальных методов для анализа или синтеза данных исследования; проведение исследовательского процесса, в частности, проведение экспериментов или сбор данных / доказательств.

Роева Н. Н.: научное руководство исследованием.

ЛИТЕРАТУРА

- Базунова, М. В., Бакирова, Э. Р., Базунова, А. А., Кулиш, Е. И., & Захаров, В. П. (2018). Изучение биодеструкции биоразлагаемых полимерных композитов на основе первичных и вторичных полиолефинов и природных наполнителей растительного происхождения. *Вестник Технологического университета*, 21(1), 43–46.
- Кириш, И. А., Романова, В. А., Тверитникова, И. С., Безнаева, О. В., Банникова, О. А., & Шмакова, Н. С. (2020). Исследования влияния ультразвуковой обработки на расплавы полимерных композиций на основе полиэтилена и модифицированного крахмала. *Химическая промышленность сегодня*, 1, 62–67.
- Корнилов, К. Н., & Роева, Н. Н. (2019). Определение содержания наночастиц пластика в питьевой воде и жидких пищевых продуктах. *Health, Food & Biotechnology*, 1(2). <https://doi.org/10.36107/hfb.2019.i2.s242>
- Корнилов, К. Н., & Роева, Н. Н. (2020). Обнаружение частиц микропластика в растительных маслах. *Health, Food & Biotechnology*, 2(1). <https://doi.org/10.36107/hfb.2020.i1.s315>
- Корнилов, К. Н., & Роева, Н. Н. (2021). Определение выделения частиц микропластика чайными пакетиками при заваривании. *Health, Food & Biotechnology*, 3(3). <https://doi.org/10.36107/hfb.2021.i3.s113>
- Корнилов, К. Н., Роева, Н. Н., & Воронич, С. С. (2020). Экологическая оценка качества модифицированных крахмалов методом динамического лазерного светорассеяния. *Экологические системы и приборы*, 7, 31–40. <https://doi.org/10.25791/esip.07.2020.1169>

- Корнилов, К. Н., & Алкилани, Х. (2021). Исследование физико-химических свойств новых биоразлагаемых полимеров на основе крахмала тапиоки. В *Лучшие студенческие исследования*, (с.7–11).
- Пехташева, Е. Л., Неверов, А. Н., Заиков, Г. Е., Софьина, С. Ю., & Темникова, Н. Е. (2012). Методы оценки биостойкости материалов. *Вестник Казанского технологического университета*, 8, 163–166.
- Пехташева, Е. Л., Неверов, А. Н., Заиков, Г. Е., Софьина, С. Ю., & Темникова, Н. Е. (2012). Способы защиты материалов от биоповреждений. *Вестник Казанского технологического университета*, 8, 167–172.
- Роговина, С. З. (2016). Биоразлагаемые полимерные композиции на основе синтетических и природных полимеров различных классов. *Высокомолекулярные соединения. Серия С*, 58(1), 68–80. <https://doi.org/10.7868/S2308114716010106>
- Умирова, Г. А., Тураев, Х. Х., Корнилов, К. Н., & Эрмуратова, Н. А. (2023). Исследование сорбции металлов ковалентно иммобилизованными полиамфолитами на основе аминокислот. *Известия вузов. Химия и химическая технология*, 66(5), 41–51. <https://doi.org/10.6060/ivkkt.20236605.6728>
- Фомин, В. А. (2001). Биоразлагаемые полимеры, состояние и перспективы использования. *Пластические массы*, 2, 42.
- Эрмуратова, Н. А., Тураев, Х. Х., Корнилов, К. Н., & Роева, Н. Н. (2022). Синтез и изучение комплексобразующего сорбента на основе карбамида, формальдегида и аминокислотной кислоты при помощи ИК-спектроскопии и сканирующего электронного микроскопа. *Известия вузов. Химия и химическая технология*, 65(9), 31–38. <https://doi.org/10.6060/ivkkt.20226509.6626>
- Accinelli, C., Saccà, M. L., Mencarelli, M., & Vicari, A. (2012). Deterioration of bioplastic carrier bags in the environment and assessment of a new recycling alternative. *Chemosphere*, 89, 136–143. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2012.05.028>
- Ahsan, W. A., Hussain, A., Lin, C., & Nguyen, M. K. (2023). Biodegradation of different types of bioplastics through composting—A recent trend in green recycling. *Catalysts*, 13, 294. <https://doi.org/10.3390/catal13020294>
- Al-Jaibachi, R., Cuthbert, R. N., & Callaghan, A. (2018). Up and away: ontogenic transference as a pathway for aerial dispersal of microplastics. *Biology Letters*, 14(4), 1–4. <https://doi.org/10.1098/rsbl.2018.0479>
- Ammala, A. (2011). An overview of degradable and biodegradable polyolefins. *Progress in Polymer Science*, 36(8), 1015–1043. <https://doi.org/10.1016/j.progpolymsci.2010.12.002>
- Andrady, A. L., & Neal, M. A. (2009). Applications and societal benefits of plastics. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 364(1526), 1977–1984. <https://doi.org/10.1098/rstb.2008.0304>
- Astner, A. F., Gillmore, A. B., Yingxue Yu., & Flury, M. (2023). Formation, behavior, properties and impact of micro- and nanoplastics on agricultural soil ecosystems (A Review). *NanoImpact*, 31, 100474. <https://doi.org/10.1016/j.impact.2023.100474>
- Baca-Bocanegra, B., Martínez-Lapuente, L., Nogales-Bueno, J., Hernández-Hierro, J. M., & Ferrer-Gallego R. (2022). Feasibility study on the use of ATR-FTIR spectroscopy as a tool for the estimation of wine polysaccharides. *Carbohydrate Polymers*, 287, 119–365. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2022.119365>
- Chen, G.-Q., & Patel, M. K. (2012). Plastics derived from biological sources: present and future: A technical and environmental review. *Chemical Reviews*, 112(4), 2082–2099. <https://doi.org/10.1021/cr200162d>
- Czaja-Jagielska, N., & Melski, K. (2013). Biodegradation of starch-based films in conditions of nonindustrial composting. *Polish Journal of Environmental Studies*, 22(4), 1039–1044.
- Degli-Innocenti, F., Tosin, M., & Bastioli, C. (1998). Evaluation of the biodegradation of starch and cellulose under controlled composting conditions. *Journal of Environmental Polymer Degradation*, 6, 197–202. <https://doi.org/10.1023/A:1021825715232>
- Gumargalieva, K. Z., & Zaikov, G. E. (1998). *Biodegradation and biodeterioration of polymers. Kinetic aspects*. Nova Science Publishing. <https://doi.org/10.1017/CBO9780511550522.010>
- Jayasekara, R., Harding, I. H., Bowater, I., & Christie, G. B. Y. (2003). Biodegradation by Composting of Surface Modified Starch and PVA Blended Films. *Journal of Polymers and the Environment*, 11, 49–56. <https://doi.org/10.1023/A:1024219821633>
- Jayakala Devi, R., & Usha, R. (2023). Microbial approaches for the plastic bioremediation and ecofriendly environmental sustainability. *Asian Journal of Chemistry*, 35(2), 289–300. <https://doi.org/10.14233/ajchem.2023.26928>
- Leja, K. & Lewandowicz, G. (2010). Polymer biodegradation and biodegradable polymers—A review. *Polish Journal of Environmental Studies*, 19, 255–266.
- Leejarkpai, T., Suwanmanee, U., Rudeekit, Yo., & Mungcharoen, Th. (2011). Biodegradable kinetics of plastics under controlled composting conditions. *Waste Management*, 31, 6, 1153–1161. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2010.12.011>
- Luo, H., Zhao, Y., Li, Y., Xiang, Y., He, D., & Pan, X. (2020). Aging of microplastics affects their surface properties, thermal decomposition, additives leaching and interactions in simulated fluids. *Science of the Total Environment*, 714, 136862. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.136862>
- Luo, H., Chaolin, T., Dongqin, H., Anping, Zh., Jianqiang S., Jun Li, Juan Xu, & Pan, X. (2023). Interactions between microplastics and contaminants: A review focusing on the effect of aging process. *Science of the Total Environment*, 899, 165615, <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.165615>
- Mason, S., Welch, V., & Neratko, J. (2018). *Synthetic polymer contamination in bottled water*. Fredonia State University. <https://dx.doi.org/10.3389%2Ffchem.2018.00407>
- Moreno, B. B., Rodrigues, B. V., Afonso, L. R., & Jimenes, Ch. P. (2023). High incidence of false biodegradability claims related

- to single-use plastic utensils sold in Brazil. *Sustainable Production and Consumption*, 41. <https://doi.org/10.1016/j.spc.2023.07.024>
- Nelms, S. E., Galloway, T. S., Godley, B. J., Jarvis, D. S., & Lindeque, P. K. (2018). Investigating microplastic trophic transfer in marine top predators. *Environmental Pollution*, 238, 999–1007. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2018.02.016>
- Sighicelli, M., Lietrelli, L., Lecce, F., Iannilli, V., Falconieri, M., Coscia, L., Di Vito, S., Nuglio, S. & Zampetti, G. (2018). Microplastic pollution in the surface waters of Italian subalpine lakes. *Environmental Pollution*, 236, 645–651. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/29433105>
- Semenov, S. A., Gumargalieva, K. Z., & Zaikov, G. E. (2003). *Biodegradation and durability of materials under the effect of microorganisms*. VSP International Science Publishing. <https://doi.org/10.1201/b11980>
- Tang, X., Alavi, S. (2011). Recent advances in starch, polyvinyl alcohol based polymer blends, nanocomposites and their biodegradability. *Carbohydrate Polymers*, 85, 7–16. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2011.01.030>
- Torres, F., Troncoso, O., Torres, C., Díaz, D., & Amaya, E. (2011). Biodegradability and mechanical properties of starch films from Andean crops. *International Journal of Biological Macromolecules*, 48, 603–606. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2011.01.026>
- Vroman, I., & Tighzert, L. (2009). Biodegradable polymers. *Materials*, 2, 307–344. <https://doi.org/10.3390/ma2020307>
- Zhuozhi, Ch., Rongdi D., Yunjie, X., & Yi Wei (2022). Biodegradation of highly crystallized poly(ethylene terephthalate) through cell surface codisplay of bacterial PETase and hydrophobin. *Nature Communications*, 13(1), 7138. <https://doi.org/10.1038/s41467-022-34908-z>

REFERENCES

- Bazunova, M. V., Bakirova, E. R., Bazunova, A. A., Kulish, E. I., & Zakharov, V. P. (2018). Study of the biodegradation of biodegradable polymer composites based on primary and secondary polyolefins and natural fillers of plant origin. *Vestnik Tekhnologicheskogo universiteta*, 21(1), 43–46.
- Kirsh, I. A., Romanova, V. A., Tveritnikova, I. S., Beznaeva, O. V., Bannikova, O. A., & Shmakova, N. S. (2020). Research on the influence of ultrasonic treatment on melts of polymer compositions based on polyethylene and modified starch. *Himicheskaya promyshlennost' segodnya*, 1, 62–67.
- Kornilov, K. N., & Roeva, N. N. (2019). Determination of the content of plastic nanoparticles in drinking water and liquid food products. *Health, Food & Biotechnology*, 1(2). <https://doi.org/10.36107/hfb.2019.i2.s242>
- Kornilov, K. N., & Roeva, N. N. (2020). Detection of microplastic particles in vegetable oils. *Health, Food & Biotechnology*, 2(1). <https://doi.org/10.36107/hfb.2020.i1.s315>
- Kornilov, K. N., & Roeva, N. N. (2021). Determination of release of microplastic particles from tea bags during brewing. *Health, Food & Biotechnology*, 3(3). <https://doi.org/10.36107/hfb.2021.i3.s113>
- Kornilov, K. N., Roeva, N. N., & Voronich, S. S. (2020). Environmental assessment of the quality of modified starches using dynamic laser light scattering. *Ekologicheskie sistemy i pribory*, 7, 31–40. <https://doi.org/10.25791/esip.07.2020.1169>
- Kornilov, K. N., & Alkilani, H. (2021). Study of the physicochemical properties of new biodegradable polymers based on tapioca starch. In *Luchshie studentcheskie issledovaniya* [Best Student Research], (pp. 7–11).
- Pekhtasheva, E. L., Neverov, A. N., Zaikov, G. E., Sofina, S. Yu., & Temnikova, N. E. (2012). Methods for assessing the biostability of materials. *Vestnik Kazanskogo tekhnologicheskogo universiteta*, 8, 163–166.
- Pekhtasheva, E. L., Neverov, A. N., Zaikov, G. E., Sofina, S. Yu., & Temnikova, N. E. (2012). Methods for protecting materials from biodamage. *Vestnik Kazanskogo tekhnologicheskogo universiteta*, 8, 167–172.
- Rogovina, S. Z. (2016). Biodegradable polymer compositions based on synthetic and natural polymers of various classes. *Vysokomolekulyarnye soedineniya. Seriya S*, 58(1), 68–80. <https://doi.org/10.7868/S2308114716010106>
- Umirova, G. A., Turaev, Kh. Kh., Kornilov, K. N., & Ermuratova, N. A. (2023). Study of the sorption of metals by covalently immobilized polyampholytes based on amino acids. *Izvestiya vuzov. Himiya i himicheskaya tekhnologiya*, 66(5), 41–51. <https://doi.org/10.6060/ivkkt.20236605.6728>
- Fomin, V. A. (2001). Biodegradable polymers, status and prospects for use. *Plasticheskie massy*, 2, 42.
- Ermuratova, N. A., Turaev, Kh. X., Kornilov, K. N., & Roeva, N. N. (2022). Synthesis and study of a complexing sorbent based on urea, formaldehyde and aminoacetic acid using IR spectroscopy and a scanning electron microscope. *Izvestiya vuzov. Himiya i himicheskaya tekhnologiya*, 65(9), 31–38. <https://doi.org/10.6060/ivkkt.20226509.6626>
- Accinelli, C., Saccà, M. L., Mencarelli, M., & Vicari, A. (2012). Deterioration of bioplastic carrier bags in the environment and assessment of a new recycling alternative. *Chemosphere*, 89, 136–143. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2012.05.028>
- Ahsan, W. A., Hussain, A., Lin, C., & Nguyen, M. K. (2023). Biodegradation of different types of bioplastics through composting—A recent trend in green recycling. *Catalysts*, 13, 294. <https://doi.org/10.3390/catal13020294>

- Al-Jaibachi, R., Cuthbert, R. N., & Callaghan, A. (2018). Up and away: ontogenic transference as a pathway for aerial dispersal of microplastics. *Biology Letters*, 14(4), 1–4. <https://doi.org/10.1098/rsbl.2018.0479>
- Ammala, A. (2011). An overview of degradable and biodegradable polyolefins. *Progress in Polymer Science*, 36(8), 1015–1043. <https://doi.org/10.1016/j.progpolymsci.2010.12.002>.
- Andrady, A. L., & Neal, M. A. (2009). Applications and societal benefits of plastics. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 364(1526), 1977–1984. <https://doi.org/10.1098/rstb.2008.0304>.
- Astner, A. F., Gillmore, A. B., Yingxue Yu., & Flury, M. (2023). Formation, behavior, properties and impact of micro- and nanoplastics on agricultural soil ecosystems (A Review). *NanoImpact*, 31, 100474. <https://doi.org/10.1016/j.nanoimpact.2023.100474>
- Baca-Bocanegra, B., Martínez-Lapuente, L., Nogales-Bueno, J., Hernández-Hierro, J. M., & Ferrer-Gallego R. (2022). Feasibility study on the use of ATR-FTIR spectroscopy as a tool for the estimation of wine polysaccharides. *Carbohydrate Polymers*, 287, 119–365. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2022.119365>.
- Chen, G.-Q., & Patel, M. K. (2012). Plastics derived from biological sources: present and future: A technical and environmental review. *Chemical Reviews*, 112(4), 2082–2099. <https://doi.org/10.1021/cr200162d>.
- Czaja-Jagielska, N., & Melski, K. (2013). Biodegradation of starch-based films in conditions of nonindustrial composting. *Polish Journal of Environmental Studies*, 22(4), 1039–1044.
- Degli-Innocenti, F., Tosin, M., & Bastioli, C. (1998). Evaluation of the biodegradation of starch and cellulose under controlled composting conditions. *Journal of Environmental Polymer Degradation*, 6, 197–202. <https://doi.org/10.1023/A:1021825715232>
- Gumargalieva, K. Z., & Zaikov, G. E. (1998). *Biodegradation and biodeterioration of polymers. Kinetical aspects*. Nova Science Publishing. <https://doi.org/10.1017/CBO9780511550522.010>
- Jayasekara, R., Harding, I. H., Bowater, I., & Christie, G. B. Y. (2003). Biodegradation by Composting of Surface Modified Starch and PVA Blended Films. *Journal of Polymers and the Environment*, 11, 49–56. <https://doi.org/10.1023/A:1024219821633>
- Jayakala Devi, R., & Usha, R. (2023). Microbial approaches for the plastic bioremediation and ecofriendly environmental sustainability. *Asian Journal of Chemistry*, 35(2), 289–300. <https://doi.org/10.14233/ajchem.2023.26928>
- Leja, K. & Lewandowicz, G. (2010). Polymer biodegradation and biodegradable polymers—A review. *Polish Journal of Environmental Studies*, 19, 255–266. Leejarkpai, T., Suwanmanee, U., Rudeekit, Yo., & Mungcharoen, Th. (2011). Biodegradable kinetics of plastics under controlled composting conditions. *Waste Management*, 31, 6, 1153–1161. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2010.12.011>
- Luo, H., Zhao, Y., Li, Y., Xiang, Y., He, D., & Pan, X. (2020). Aging of microplastics affects their surface properties, thermal decomposition, additives leaching and interactions in simulated fluids. *Science of the Total Environment*, 714, 136862. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.136862>
- Luo, H., Chaolin, T., Dongqin, H., Anping, Zh., Jianqiang S., Jun Li, Juan Xu, & Pan, X. (2023). Interactions between microplastics and contaminants: A review focusing on the effect of aging process. *Science of the Total Environment*, 899, 165615, <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.165615>
- Mason, S., Welch, V., & Neratko, J. (2018). *Synthetic polymer contamination in bottled water*. Fredonia State University. <https://dx.doi.org/10.3389%2Ffchem.2018.00407>
- Moreno, B. B., Rodrigues, B. V., Afonso, L. R., & Jimenes, Ch. P. (2023). High incidence of false biodegradability claims related to single-use plastic utensils sold in Brazil. *Sustainable Production and Consumption*, 41. <https://doi.org/10.1016/j.spc.2023.07.024>
- Nelms, S. E., Galloway, T. S., Godley, B. J., Jarvis, D. S., & Lindeque, P. K. (2018). Investigating microplastic trophic transfer in marine top predators. *Environmental Pollution*, 238, 999–1007. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2018.02.016>
- Sighicelli, M., Lietrelli, L., Lecce, F., Iannilli, V., Falconieri, M., Coscia, L., Di Vito, S., Nuglio, S. & Zampetti, G. (2018). Microplastic pollution in the surface waters of Italian subalpine lakes. *Environmental Pollution*, 236, 645–651. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/29433105>
- Semenov, S. A., Gumargalieva, K. Z., & Zaikov, G. E. (2003). *Biodegradation and durability of materials under the effect of microorganisms*. VSP International Science Publishing. <https://doi.org/10.1201/b11980>
- Tang, X., Alavi, S. (2011). Recent advances in starch, polyvinyl alcohol based polymer blends, nanocomposites and their biodegradability. *Carbohydrate Polymers*, 85, 7–16. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2011.01.030>
- Torres, F., Troncoso, O., Torres, C., Díaz, D., & Amaya, E. (2011). Biodegradability and mechanical properties of starch films from Andean crops. *International Journal of Biological Macromolecules*, 48, 603–606. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2011.01.026>
- Vroman, I., & Tighzert, L. (2009). Biodegradable polymers. *Materials*, 2, 307–344. <https://doi.org/10.3390/ma2020307>
- Zhuozhi, Ch., Rongdi D., Yunjie, X., & Yi Wei (2022). Biodegradation of highly crystallized poly(ethylene terephthalate) through cell surface codisplay of bacterial PETase and hydrophobin. *Nature Communications*, 13(1), 7138. <https://doi.org/10.1038/s41467-022-34908-z>